



**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM141585

# DESAIN DAN ANALISA RESPON GETAR PADA *PUTTER GOLF* DENGAN *PUTTER HEAD ALUMINIUM AISI 7075* DAN POROS BAJA KARBON MELALUI VARIASI PUSAT MASSA MENGGUNAKAN *MODAL ANALYSIS*

AUDREY SURYA PRAMESWARI K.  
NRP. 2113 100 181

Dosen Pembimbing  
Suwarno, ST., MSc, PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017





TUGAS AKHIR - TM141585

**DESAIN DAN ANALISA RESPON  
GETAR PADA *PUTTER GOLF*  
DENGAN *PUTTER HEAD ALUMINIUM*  
*AISI 7075* DAN POROS BAJA KARBON  
MELALUI VARIASI PUSAT MASSA  
MENGGUNAKAN *MODAL ANALYSIS***

AUDREY SURYA PRAMESWARI K.  
NRP. 2113 100 181

Dosen Pembimbing  
Suwarno, ST., MSc, PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



**FINAL PROJECT - TM141585**

# **DESIGN AND ANALYSIS OF VIBRATION RESPONSE ON GOLF PUTTER WITH ALUMINIUM AISI 7075 PUTTER HEAD AND CARBON STEEL SHAFT THROUGH CENTER OF MASS VARIATIONS USING MODAL ANALYSIS**

**AUDREY SURYA PRAMESWARI K.  
NRP. 2113 100 181**

**Advisors  
Suwarno, ST., MSc, PhD**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

**DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR *PUTTER*  
GOLF DENGAN *PUTTER HEAD* ALUMINIUM 7075  
DAN POROS BAJA KARBON MELALUI PERBEDAAN  
PUSAT MASSA MENGGUNAKAN *MODAL ANALYSIS***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

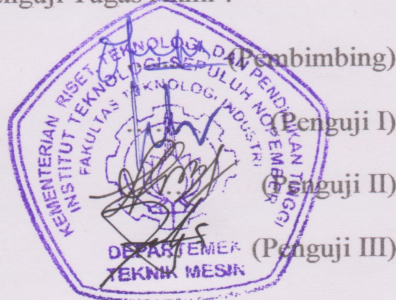
Oleh :

**AUDREY SURYA PRAMESWARI KHARISMA**

NRP. 2113 100 181

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Suwarno, ST., MSc., Ph.D (Pembimbing)  
NIP. 19800520 200501 1 003
2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. (Penguji I)  
NIP. 19740703 200003 1 001
3. Wahyu Wijanarko, ST., MSc. (Penguji II)  
NIP. 19820209 201212 1 001
4. Indra Sidharta ST., MSc. (Penguji III)  
NIP. 19800619 200604 1 004



**SURABAYA**

**JULI, 2017**

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



**DESAIN DAN ANALISA RESPON GETAR PADA  
PUTTER GOLF DENGAN PUTTER HEAD  
ALUMINIUM AISI 7075 DAN POROS BAJA KARBON  
MELALUI VARIASI PUSAT MASSA  
MENGUNAKAN *MODAL ANALYSIS***

Nama : Audrey Surya Prameswari Kharisma  
NRP : 2113100181  
Jurusan : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc, PhD.

**ABSTRAK**

Sebagai salah satu permainan olahraga yang membutuhkan berbagai macam peralatan, golf dikenal memiliki dua elemen penting dalam permainannya yaitu bola dan *stick*. *Stick* memukul bola untuk menciptakan *hole-in-one* dan kemenangan dihitung berdasarkan skor pemain. Stik golf yang sangat mempengaruhi keseluruhan permainan adalah *putter*. *Putter* adalah stik golf yang memiliki akurasi yang tinggi karena gunanya untuk pemukulan kedalam lubang pada jarak dekat di area *putting green*. Elemen *putter* yang bersentuhan langsung dengan bola adalah *putter head*, yang dapat bergetar saat terjadi tumbukkan antara bola dan stick guna memberikan arah lintasan bola yang tepat. Arah lintasan bola yang mempengaruhi keseluruhan permainan melatarbelakangi analisis respon getar yang dilakukan karena dapat menentukan arah lintasan bola setelah terjadinya tumbukkan. Analisis respon getar pada *putter golf* ini bertujuan untuk menentukan *putter golf* dengan hasil respon getar yang paling mendekati *Putter Golf Odyssey White Hot RX-2 Ball V-Line Putter* yang diyakini sebagai *putter* terbaik dikelasnya.

Penelitian ini diawali dengan perumusan masalah dan tujuan penelitian dan dilengkapi dengan studi literatur. Setelah

dilakukan studi literatur, dirancang bentuk *putter head* sesuai dengan variasi massa pada *software Autodesk Inventor 2017*. Setelah itu material ditentukan dan simulasi *modal analysis* dilakukan pada *putter head* yang dirancang. Hasil simulasi rancangan yang didapat dibandingkan dengan hasil eksperimen *modal analysis* yang dilakukan ada *Putter Head Odyssey* dan dapat ditentukan rancangan yang akan dibuat di *CNC Machining*. Sebelum memasuki uji eksitasi pada *putter* yang dirancang, dilakukan verifikasi pusat massa *Putter head Odyssey* dengan penggambaran ulang melalui *software Autodesk Inventor*. Tahap terakhir adalah melakukan eksperimen *modal analysis* menggunakan *vibration testing meter*, dengan pengolahan data oleh *software MathCad*. Dari pengolahan data tersebut, didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan *Toe Weighted Putter* adalah desain *Putter* yang dipilih melalui simulasi *Modal analysis* pada *Autodesk Inventor*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa frekuensi natural yang dimiliki *Toe Weighted Putter* dan *Putter Odyssey* sebesar 5,991 Hz, dengan frekuensi natural yang sama hasil *modeshapes* yang telah di plot tidak memiliki kesamaan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah *Modeshapes* tidak hanya dipengaruhi oleh frekuensi natural, tetapi juga dipengaruhi oleh massa benda, material benda, serta perbedaan geometri pada benda. Variasi pusat massa tidak hanya dapat mempengaruhi frekuensi natural, tetapi juga *Modeshapes* pada suatu benda.

**Kata Kunci :** *Modal Analysis, Frekuensi Natural, Putter Golf, Modeshapes, Compliance, Sudut Fasa, Golf*

**DESIGN AND ANALYSIS OF VIBRATION  
RESPONSE ON GOLF PUTTER WITH ALUMINIUM  
AISI 7075 PUTTER HEAD AND CARBON STEEL  
SHAFT THROUGH CENTER OF MASS  
VARIATIONS USING MODAL ANALYSIS**

Name	: Audrey Surya Prameswari Kharisma
NRP	: 2113100181
Department	: Mechanical Engineering
Advisor	: Suwarno, ST., MSc, PhD.

**ABSTRACT**

As one of the sports games that require a variety of equipment, golf is known to have two important elements in the game in which were balls and clubs. Club hits the ball to create a hole-in-one and victory is calculated based on the player's score. Golf clubs that greatly affect the overall game are putter. Putter is a golf club that has a high accuracy due its use for a close range in the putting green area. The putter element in direct contact with the ball is the putter head, which can vibrates during a collision between the ball and the clubs to give the correct direction of the ball. The direction of the ball that affects the overall game is the background of the vibration response analysis because it determines the direction of the ball path after the collision. Analysis of the vibration response on the golf putter aims to determine the golf putter with the most resonant response result approaching the Golf Odyssey White Hot RX-2 Ball V-Line Putter which is believed to be the best putter in its class.

This research began with the formulation of problem and purpose of research which completed with literature study. After literature studies, the shape of the putter head is designed according to the center of mass variation in the Autodesk Inventor 2017 software. After that the material is determined and the

modal analysis simulation is performed on the designed putter head. The obtained simulation results are compared with the results of capital analysis experiments conducted by Putter Head Odyssey and can be determined the design to be made in CNC Machining. Prior to entering the excitation test on the designed putter, verification of the mass center of the Putter head Odyssey were done by re-drawing through the Autodesk Inventor software. The last stage is to conduct capital analysis experiments using vibration testing meter, with data processing by MathCad software. This research were concluded from the processed data.

The results of this study shown that Toe Weighted Putter is a Putter design chosen through Modal Analysis simulation on Autodesk Inventor. The experimental results shown that the natural frequency of Toe Weighted Putter and Putter Odyssey is 5,991 Hz, with the same natural frequency the modeshapes that have been plotted have nothing in common. The conclusion of this research is that Modeshapes are not only influenced by natural frequency, but also influenced by mass of objects, material and geometric differences in objects. Mass center variations can affect not only natural frequencies, but also Modeshapes on an object.

**Keyword:** *Modal Analysis, Natural Frequency, Golf Putter, Modeshapes, Compliance, Phase Angle, Golf*

## KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa taa'la atas rahmat dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir sebagai persyaratan pemenuhan gelar Sarjana (S-1) Teknik Mesin. Tanpa kehendak-Nya, penulis tidak dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

**“DESAIN DAN ANALISIS RESPON GETAR PADA  
PUTTER GOLF DENGAN PUTTER HEAD ALUMINIUM  
AISI 7075 DAN POROS BAJA KARBON MELALUI  
PERBEDAAN PUSAT MASSA MENGGUNAKAN MODAL  
ANALYSIS”**

Dengan terselesaikan-nya penelitian ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada segenap orang-orang yang membantu penulis dalam menerapkan teori yang telah dipelajari selama 4 tahun berkuliah di Teknik Mesin FTI-ITS. Maka dari itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibuku **Sri Pudji Kristianingsih** dan Ayahku **Suryawarman** yang tak henti-hentinya berdoa dan selalu percaya kepada kemampuan penulis sehingga penulis dapat menempuh pendidikan dengan baik
2. Saudara-saudaraku, **Narendra Surya Aditya Khrisna, Yudhistira Surya Andika Khrisna** yang tidak pernah lelah menasehati dan melindungi penulis dengan ikhlas
3. Adik-adikku, **Athalya Surya Khallyssa Jacinda, Aurelya Surya Belva Damara** yang mengajari penulis apa arti ketulusan dan memotivasi penulis untuk selalu menjadi lebih baik
4. Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang saya hormati, **Suwarno, S.T., M.T., Ph.D**, yang memberikan penulis arahan untuk menempuh Tugas Akhir dengan kesabaran

5. Dosen Penguji Tugas Akhir yang saya hormati, **Dr. Eng. Sutikno, S.T.,M.T., Indra Sidharta, S.T., M.Sc., Ph.D, Wahyu Wijanarko, S.T.,M.Sc.** yang memberi penulis pencerahan saat menempuh seminar dan sidang akhir
6. Dosen Wali saya Ibu **Dr. Ir. H.C.Kis Agustin, DEA** yang memberikan saran bagi penulis agar dapat menempuh pendidikan dengan baik dan tepat waktu
7. Segenap dosen dan karyawan yang telah mengajari, membantu, dan memberi warna dalam perkuliahan penulis yang akan selalu penulis kenang dengan manis
8. Sahabatku sejak mahasiswa baru, **Devi Maharani Kosa** dan **Sheiyuanaurra Imaratianti** yang sudah seperti saudara sendiri. Terima kasih atas keikhlasannya membantu penulis untuk menyelesaikan segala urusannya.
9. **Vristanto Bimo Kusumo**, yang tidak pernah lelah memberikan semangat kepada penulis untuk selalu ceria dan mengajarkan penulis untuk selalu bersyukur
10. **Santa North Pole, Baskara Brothers** segenap teman laki-laki penulis yang bersedia menggantikan sosok kakak penulis dan menjaga penulis
11. **FAKULTAS HUKUM UNIVERSITAS AIRLANGGA 2015** , terima kasih atas dorongan dan semangat teman-teman agar penulis dapat menyelesaikan pendidikan insinyur secepat-cepatnya, dan atas kesempatan yang diberikan untuk mengenal kalian
12. **ITS TEAM SAPUANGIN, Mas Alif, Mas Haidir, Angga, Joko, Aan, Ricky, Annas, Haqqur, Mas Gilas** yang memberikan pengalaman berharga dan membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
13. **SPE ITS SC, ASTRA 1<sup>ST</sup>, XL FUTURE LEADERS B4** yang memberi kesempatan kepada penulis untuk berkembang dan melatih penulis untuk menjadi pribadi yang lebih baik.

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Dasar Teori .....	5
2.1.1 <i>Putter</i> , <i>Putter Head</i> dan Spesifikasi.....	5
2.1.2 Jenis <i>Putter</i> Menurut Letak Pusat Massa .....	7
2.1.3 Design <i>Putter Head</i> .....	8
2.1.4 Material <i>Putter Head</i> .....	11
2.1.5 Proses Manufaktur dengan menggunakan CNC .....	12
2.1.6 Uji Eksitasi pada <i>Putter Head</i> .....	13
2.1.7 Eksperimen Analisa Modus Getar .....	15

2.1.8 Boundary Conditions.....	16
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>19</b>
3.1 Peralatan.....	19
3.2 Alat Bantu Penelitian .....	19
3.2.1 <i>Impulse Hammer</i> Tipe IH 101-1K Omega .....	19
3.2.2 <i>Power Supply</i> ACC-PS1 Omega .....	20
3.2.3 Analog to Digital Converter Tipe ADC-214 Pico- Technology.....	20
<b>3.2.6 Langkah Kerja <i>Experimental Modal Analysis</i> .....</b>	<b>22</b>
3.3 Langkah – langkah Penelitian .....	26
3.3.1 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	26
3.3.2 Studi Literatur .....	26
3.3.3 Desain.....	26
3.3.4 Penentuan Material.....	26
3.3.5 Simulasi Analisa Modus Getar.....	26
3.3.6 Analisa Modus Getar Terhadap <i>Putter Head Odyssey</i> .....	27
3.3.7 Penentuan Desain .....	28
3.3.8 Proses Pembuatan <i>Putter Head</i> dengan <i>CNC Machining</i> .....	28
3.3.9 Analisa Hasil Eksperimen .....	28
3.4 Flowchart Percobaan.....	29
<b>BAB IV DATA AWAL MODUS GETAR PUTTER CUSTOM.....</b>	<b>31</b>
4.1 Data awal Putter Custom .....	31
4.2 Putter Benchmark.....	36



4.3 Tahap Pelaksanaan Simulasi dan Data Hasil Simulasi .....	38
4.3.1 Flowchart Simulasi .....	39
4.3.2 Input Geometri Material.....	40
4.3.3 Input Fixed Component.....	40
4.3.4 Input Loading dan Constraint.....	41
4.3.5 <i>Meshing</i> .....	42
4.3.6 Modal Analysis Simulation.....	42
4.3.7 <i>Running</i> Simulasi .....	43
4.4 Hasil Simulasi <i>Putter Golf Custom</i> .....	44
4.4.1 Face Balanced Putters .....	44
4.4.2 Toe Weighted Putters dan Insert .....	46
4.4.3 Toe Weighted Putters.....	47
4.4.4 Face Balanced Putters dan Insert .....	49
4.5 Hasil Simulasi Putter Golf Benchmark.....	51
4.6 Hasil Eksperimen Putter Golf Benchmark.....	52
4.7 Hasil Eksperimen Putter Custom (Toe Weighted).....	56
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN MODUS GETAR</b>	
<b><i>PUTTER CUSTOM</i>.....</b>	<b>61</b>
5.1 Analisa Hasil Simulasi.....	61
5.2 Analisa Hasil Eksperimen Putter Benchmark dan Putter Custom (Toe Weighted).....	64
5.2.1 Compliance pada frekuensi natural 5,991 Hz .....	70
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>73</b>
6.1 Kesimpulan .....	73

6.2 Saran .....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>xxv</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Golf Putter</i> .....	5
Gambar 2.2 Bagian-bagian dari <i>Putter Head</i> berdasarkan <i>United States Golf Association (USGA)</i> . <sup>[4]</sup> .....	6
Gambar 2.3 (a) <i>Face Weighted Putter</i> , (b),(c) dan (d) <i>Toe Weighted Putters</i> . ....	7
Gambar 2.4 <i>Face Balanced Putters with insert</i> .....	9
Gambar 2.5 <i>Toe-Balanced Putter with insert</i> .....	9
Gambar 2.6 <i>Toe Balanced Putters</i> .....	10
Gambar 2.7 <i>Face Balanced Putters</i> .....	10
Gambar 2.8 Cara Kerja <i>Computer Numerical Control</i> <sup>[6]</sup> .....	12
Gambar 2.9 Sistem Koordinat pada spesimen berbentuk rata dan prismatik <sup>[6]</sup> .....	13
Gambar 2.10 Elemen Luasan dalam bidang kartesian .....	14
Gambar 2.11 <i>Free-free Boundary Condition</i> <sup>[11]</sup> .....	16
Gambar 2.12 <i>Clamped-Free Boundary Conditions</i> <sup>[11]</sup> .....	17
Gambar 2.13 <i>Hands-Free Boundary Conditions</i> <sup>[11]</sup> .....	17
Gambar 3.1 <i>Impulse Hammer</i> Tipe IH 101-1K Omega. ....	19
Gambar 3.2 <i>Power Supply</i> ACC-PS1 Omega. ....	20
Gambar 3.3 <i>Analog to Digital Converter</i> Tipe ADC-214 <i>Pico-Technology</i> . ....	20
Gambar 3.4 <i>General Purpose Accelerometer</i> Tipe Omega.....	21
Gambar 3.5 Instalasi Alat Uji Eksitasi. ....	22
Gambar 3.6 <i>Set-up</i> perangkat lunak <i>Picoscope</i> 6. ....	22
Gambar 3.7 Pemberian Gaya Eksitasi pada <i>Putter Golf</i> . ....	23
Gambar 3.8 Contoh Data dalam Format <i>Text Document (.txt)</i> ...	24
Gambar 3.9 Contoh Data dalam Format <i>Picoscope Data File</i> ....	24
Gambar 3.10 Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak <i>Mathcad</i> .....	25
Gambar 4.1.1 <i>Face Balanced Putters with Insert</i> .....	32

Gambar 4.1.2 Letak pusat massa pada <i>Face Balanced Putters with Insert</i> .....	32
Gambar 4.1.3 <i>Toe Weighted Putters with Insert</i> .....	33
Gambar 4.1.4 Letak pusat massa pada <i>Toe Weighted Putters with Insert</i> .....	33
Gambar 4.1.5 <i>Toe Weighted Putters</i> .....	34
Gambar 4.1.6 Letak pusat massa pada <i>Toe Weighted Putters</i> .....	34
Gambar 4.1.7 <i>Face Balanced Putters</i> .....	35
Gambar 4.1.8 Letak pusat massa <i>Face Balanced Putters</i> .....	35
Gambar 4.2.1 <i>Putter Head Odyssey</i> .....	37
Gambar 4.2.2 Letak pusat massa <i>Putter Head Odyssey</i> .....	37
Gambar 4.3.3 <i>Input Fixed Components</i> .....	40
Gambar 4.3.4 <i>Input Loading dan Constraint</i> .....	41
Gambar 4.3.5 <i>Meshing</i> .....	42
Gambar 4.3.6 <i>Modal Analysis Simulation</i> .....	42
Gambar 4.4.1 Hasil Simulasi <i>Face Balanced Putters</i> .....	45
Gambar 4.4.2 Hasil Simulasi <i>Toe Weighted Putters and Insert</i> ..	46
Gambar 4.4.3. Hasil Simulasi <i>Toe Weighted Putters</i> .....	48
Gambar 4.4.4 Hasil Simulasi <i>Face Balanced Putters and Insert</i>	49
Gambar 4.5. Hasil Simulasi <i>Odyssey Putter</i> .....	51
Gambar 4.6.1 Hasil Simulasi <i>Odyssey Putter</i> .....	53
Gambar 4.7.1 <i>Toe Weighted Putter Head</i> dengan Aluminium 7075 .....	56
Gambar 4.7.2 <i>Carbon Steel Putter Shafts</i> dan <i>Polymer Grip</i> .....	57
Gambar 4.7.3 Titik Pengujian <i>Putter Toe Weighted</i> .....	58
Gambar 5.1.1 Grafik Perbandingan Frekuensi Natural tiap desain .....	62
Gambar 5.1.2 Grafik Perbandingan <i>Displacement</i> tiap desain...	63
Gambar 5.2.1 Grafik <i>Compliance</i> pada <i>Putter Head Odyssey</i> ....	64
Gambar 5.2.2 Grafik Sudut Fasa pada <i>Putter Head Odyssey</i> .....	66
Gambar 5.2.3 Grafik <i>Compliance</i> pada <i>Putter Head Custom (Toe Weighted)</i> .....	67

Gambar 5.2.4 Grafik Sudut Fasa pada <i>Putter Custom (Toe Weighted)</i> .....	69
Gambar 5.5.1.1 Grafik <i>Compliance</i> di tiap titik pada <i>Putter Odyssey</i> .....	70
Gambar 5.5.1.2 Grafik <i>Compliance</i> di tiap titik pada <i>Putter Custom Toe Weighted</i> .....	71

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Mechanical Properties of Aluminium 7075-O</i> . (sumber : www.matweb.com) .....	11
Tabel 4.4.1 Hasil Frekuensi dan <i>Modeshapes Face Balanced Putters</i> .....	45
Tabel 4.4.2 Hasil Frekuensi dan <i>Modeshapes Toe Weighted Putters and Insert</i> .....	47
Tabel 4.4.3 Hasil Frekuensi dan <i>Modeshapes Toe Weighted Putters</i> .....	48
Tabel 4.4.4 Hasil Frekuensi dan <i>Modeshapes Face Balanced Putters dengan insert</i> .....	50
Tabel 4.5.1 Hasil Frekuensi dan <i>Modeshapes Odyssey Putter</i> ....	51
Tabel 4.6.1 Hasil eksperimen pada frekuensi 5,991 Hz .....	54
Tabel 4.6.2 Hasil eksperimen pada frekuensi 51,992 Hz .....	55
Tabel 4.7.1 Hasil Eksperimen pada frekuensi natural 5,991 Hz .	59
Tabel 4.7. 2 Hasil Eksperimen pada frekuensi natural 8,9865 Hz .....	60
Tabel 5.1.1 Tabel Perbandingan Frekuensi Natural tiap desain ..	61
Tabel 5.1.2 Tabel Perbandingan <i>Displacement</i> tiap desain.....	63

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Permainan golf dimulai sejak 1744 di St.Andrews, Scotland ditandai dengan keberadaan lukisan-lukisan di abad ke-13 yang menggambarkan permainan golf. Di US sendiri, golf mulai dikenal pada tahun 1888. Sampai saat ini, golf sudah termasuk dalam cabang olahraga yang dikompetisikan sesuai dengan kelas yang dibagi menjadi kedua gender, pria dan wanita. Sebagai contoh *British Open* untuk kelas golfer pria, dan *Weetabix Women's British Open* untuk kelas golfer wanita. Pemenang kompetisi ini datang dari pemain yang dapat mengumpulkan total skor paling kecil dari seluruh babak permainan.

Tidak hanya untuk pria dan wanita pada umur dewasa, saat ini remaja dan anak-anak sudah mulai merambah dunia golf. Berdasarkan riset yang diadakan oleh *European Tour* pada tahun 2015 di wilayah UK, tercatat bahwa terdapat 1.7 juta pemain golf anak dan 9.3 juta pemain golf dewasa. Persentase kelas pemain dewasa tertinggi tercatat bermain pada kelas *Full-Length Course*, dan pemain anak tertinggi pada kelas *Adventure Golf* dengan total pemain 700 ribu orang.<sup>[1]</sup>

Hasil survey tersebut melatarbelakangi pembuatan *Putter Head* yang di fokuskan pada pasar *Full-Length Course* untuk dewasa karena memiliki pasar yang lebih besar dibandingkan dengan *Adventure Golf* untuk kelas anak. Dalam setiap kelas permainan golf, dibutuhkan peralatan dan *skill* yang mumpuni guna menghasilkan capaian yang baik. Kemampuan untuk memantulkan bola dari stik golf secara tepat menjadi keahlian para atlet golf. Akurasi yang tinggi membuat hasil pantulan semakin baik. Tetapi, akurasi tidak hanya datang dari pemain golf, tetapi juga dipengaruhi oleh dimensi dan bahan stik golf. Stik golf sendiri memiliki berbagai macam jenis berdasarkan

kebutuhan pemukulan dan jarak. Biasanya, para pemula memiliki satu set stik yang terdiri atas 3-wood, 5-, 7- dan 9- iron, *pitching wedge*, *sand wedge* dan sebuah *putter*.<sup>[2]</sup>

Dalam satu set tas pemain golf, *putter* yang umumnya dimiliki hanya satu buah. Sementara, *putter* sendiri berfungsi sebagai pemukul akhir untuk membuat bola golf masuk ke dalam lubang. Karena fungsinya itu, *putter* harus dapat membuat hasil pukulan yang akurat karena pengaruhnya yang besar terhadap skor pemain. Berdasarkan letak *centre of gravity*-nya, *putter head* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *toe weighted* dan *face weighted*. Karena di pasaran terdapat dua jenis letak *centre of gravity* (pusat massa) ini, maka dari itu penelitian ini mengangkat tentang pengaruh pemindahan *centre of gravity putter head* terhadap hasil pukulan. *Putter head* sendiri adalah bagian dari *putter*, yang mana bagian dari *putter* adalah *head*, *hosel*, *shaft* dan *grip*.

Untuk menentukan hasil pukulan terbaik dilakukan pengujian terhadap *putter head* menggunakan *picoscope* dengan analisa modal. Dalam penelitian ini, digunakan material Aluminium Alloy dengan proses manufaktur CNC atas dua design *putter head* yang memiliki *centre of gravity* yang berbeda. Setelah dilakukan pengujian analisa modal dari hasil pukulan antara kedua *putter head* berbahan Aluminium Alloy dengan bola golf. Hasil dari respons getaran antara kedua *putter head* akan dibandingkan guna mendapatkan *putter head* dengan hasil pukulan terbaik.

## 1.2. Rumusan Masalah

Merujuk pada *putter* di pasaran, terdapat *putter head* dengan material yang sama tetapi pusat massa diletakkan secara berbeda. Dengan perbedaan letak pusat massa ini, respon dari getaran yang dihasilkan saat terjadi pukulan terhadap bola dapat berbeda. Tumbukkan antar *putter head* yang memiliki pusat massa berbeda mempengaruhi modus getar dan arah dari bola golf.

Pertama-tama, akan dibuat dua jenis *putter* yaitu *toe-weighted* dan *face-weighted putter* dengan material *putter head* Aluminium AISI 7075, dan juga dirancang *toe-weighted putter* dan *face-weighted putter* yang diberi material *Stainless Steel* tambahan (*insert*). Lalu pengujian eksitasi akan dilakukan pada penelitian ini terhadap dua *putter head* tersebut. Setelah dilakukan pengujian, hasil tersebut diharapkan dapat menggambarkan hubungan antara letak pusat massa terhadap modus getar. Selain itu, hasil pengujian dapat menjadi tolak ukur penentuan pusat massa yang optimal bagi *putter head*.

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka lingkup dan batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bahan material yang digunakan dalam pembuatan *putter head* adalah sama, yaitu *Aluminium AISI 7075*
2. Massa dan volume *putter head* adalah sama
3. Tidak dilakukan pengujian sifat mekanik setelah melalui proses manufaktur
4. Proses Manufaktur yang dilakukan terhadap kedua *putter head* adalah sama, yaitu *CNC Machining*
5. *Putter face* memiliki kekerasan dengan nilai yang sama
6. Gaya pemukulan dilakukan pada nilai dan titik yang sama
7. Tegangan sisa hasil proses manufaktur diabaikan
8. *Clamped Free Boundary Condition*
9. Frekuensi natural yang ditinjau adalah frekuensi natural yang mempengaruhi pemukulan pada *swing plane*
10. *Displacement* dan *compliance* yang ditinjau adalah yang terjadi pada sumbu-Z.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai adalah :

1. Menganalisa hasil getaran dari pemukulan *putter head* terhadap bola akibat perbedaan letak pusat massa

2. Menentukan letak pusat massa yang optimal terhadap hasil pukulan untuk kebutuhan perancangan *putter head*
3. Membandingkan respon getaran terhadap *putter head* yang di design dengan *putter head odyssey*

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat diketahui pengaruh letak pusat massa terhadap akurasi *putter head* melalui analisa getaran saat pemukulan bola dilakukan. Getaran yang terbaca dapat digunakan sebagai penilaian akurasi *putter head* yang memberikan manfaat dalam perkembangan proses produksi *putter head* berkualitas tinggi.

Berikut adalah manfaat dari penelitian ini :

Untuk pengembangan variasi pusat massa *putter head* serta pengaruh terhadap nilai akurasi pantulan.

## BAB II

### DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 *Putter, Putter Head* dan Spesifikasi

Berdasarkan fungsinya, stik golf dibagi menjadi tiga jenis yaitu *iron*, *wood*, dan *putter*. Hal yang istimewa dari *putter* adalah sudut pemukulan yang tidak melebihi  $10^\circ$ . *Putter* membutuhkan akurasi yang tinggi karena perannya dalam memasukan bola kedalam *hole*. Kebutuhan akan akurasi tersebut, membuat para pemain menghasilkan gaya yang relatif kecil terhadap *putter head* dengan kecepatan yang rendah.

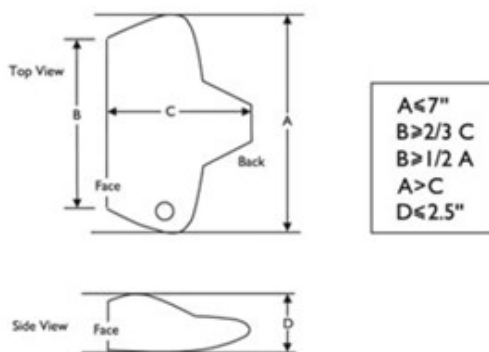


Gambar 2.1 *Golf Putter*

Dari bagian-bagian yang telah dijelaskan tersebut, bagian yang berhubungan langsung dengan bola adalah *putter head*, yang terdiri dari *heel*, *face*, dan *toe*. *Face* sendiri bersentuhan langsung dengan bola, dan beberapa design *putter* memiliki alur pada *face*.

Umumnya berat *head* yang ada di pasaran mulai dari 300-500 gram. Sementara *neck/hosel* (leher), *shaft* (poros), dan *grip* (pegangan) berperan dalam pemindahan gaya dari pemain golf terhadap bola golf. *Head*, *hosel*, *grip* dan *shaft* diproduksi secara terpisah, lalu dipasang dengan menyambungkan *shaft* dengan *head* menggunakan *hosel*. Sementara, *grip* disambungkan dengan *shaft* untuk kenyamanan pengguna karena kontak langsung terhadap tangan pemain. Material yang digunakan pada *grip* bersifat lebih variatif seperti karet, kulit dan juga komposit. Sementara diameter dari *shaft* 0.5 in atau 1.27 cm dengan panjang mulai dari 33 – 48 in atau jika dikonversikan kedalam centimeter sebesar 86 – 122 cm.

Sebelum membahas mengenai *putter head*, berikut saya jelaskan mengenai bagian-bagian yang dimiliki oleh setiap *putter head*, yaitu *face* dan *back*.



Gambar 2.2 Bagian-bagian dari *Putter Head* berdasarkan *United States Golf Association (USGA)*.<sup>[4]</sup>

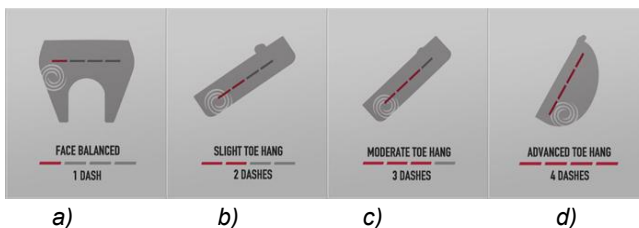
Berdasarkan gambar tersebut, dijelaskan pula dalam peraturan yang diterbitkan mengenai desain yang dimiliki pada *putter head* harus memenuhi standard sebagai berikut :

- a. Jarak dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) lebih besar dari jarak bagian muka hingga kebagian belakang (  $A > C$  )
- b. Panjang dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) lebih kecil sama dengan 7 in atau 177.8 mm (  $A < 7\text{in}$  )
- c. Jarak dari bagian ujung (*toe*) hingga tumit (*heel*) dari *putter face* lebih besar sama dengan  $\frac{2}{3}$  jarak dari *putter face* hingga kebagian belakang.
- d. Jarak dari bagian tumit (*heel*) hingga bagian ujung (*toe*) dari *putter face* lebih besar sama dengan setengah dari jarak dari bagian ujung (*toe*) ke bagian tumit (*heel*).
- e. Tebal dari *putter head* lebih kecil sama dengan 2.5 in atau 63.5 mm.

*Putter head* dapat dikelompokkan dari letak pusat massanya dan juga bentuknya. Pada penelitian ini, bentuk yang dipakai adalah bentuk *blade putter* yang porosnya terletak pada bagian tumit dari *putter*. Sementara menurut letak pusat massa, terdapat dua jenis *putter head* yaitu *toe-weighted putter* dan *face-weighted putter*.

### 2.1.2 Jenis *Putter* Menurut Letak Pusat Massa

Berdasarkan penjelasan diatas, perbedaan letak pusat massa akan mempengaruhi distribusi massa pada *putter*, hal tersebut membedakan jenis *putter nya* :



Gambar 2.3 (a) *Face Weighted Putter*, (b),(c) dan (d) *Toe Weighted Putters*.

Percobaan yang mudah untuk menguji apakah *putter* tersebut merupakan *toe weighted putter* atau *face-weighted putter* adalah dengan meletakkan *putter* dengan posisi *shaft* disangga meja dan *putter head* mengatung diatas meja. Jika bagian *toe* bergerak kebawah dan *heel* bergerak keatas, maka *putter* tersebut termasuk dalam *toe-weighted putter*. Namun jika letak *heel* dan *toe* seimbang, maka dikatakan sebagai *face-weighted putter*.<sup>[5]</sup>

a. *Toe Weighted Putter*

Saat distribusi massa lebih besar terhadap *toe* dan membuat *putter* untuk bergerak kebawah, maka jenis *putter* termasuk dalam *toe-weighted putter*. Letak pusat massa yang cenderung diujung ini membuat arah pukulan yang dihasilkan menjadi *in to in* atau *in to dsquare*, yaitu arah pukulan yang membentuk sudut sesuai dengan pukulan yang diberikan oleh pemain golf.

b. *Face Weighted Putter*

Saat distribusi massa berada di bagian *face*, maka jenis *putter* termasuk dalam *face-weighted putter*. Letak pusat massa yang berada di *face* membuat hasil pukulan berarah *square to square*, yang membuat bola berputar lurus tanpa membentuk sudut.

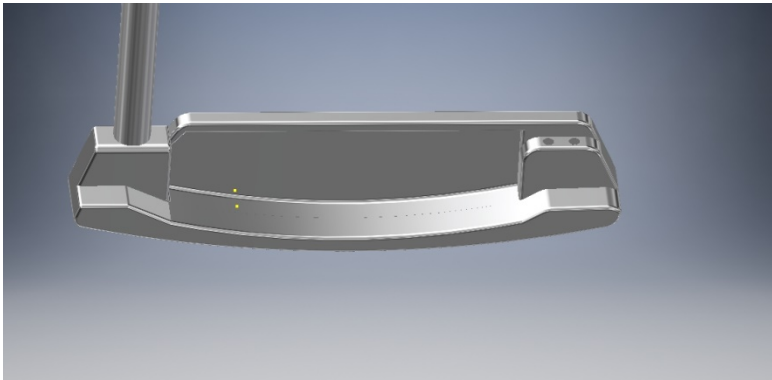
### 2.1.3 Design Putter Head

Merujuk dari spesifikasi awal sesuai dengan Point 2.1.1 mengenai bagian-bagian dari *putter head* serta ketentuan-ketentuannya. Telah dirancang *putter head* yang memiliki volume yang sama, massa yang sama, dengan letak pusat massa yang berbeda, pusat massa dihitung setelah seluruh komponen *putter head* dan *shaft* di-assembly.

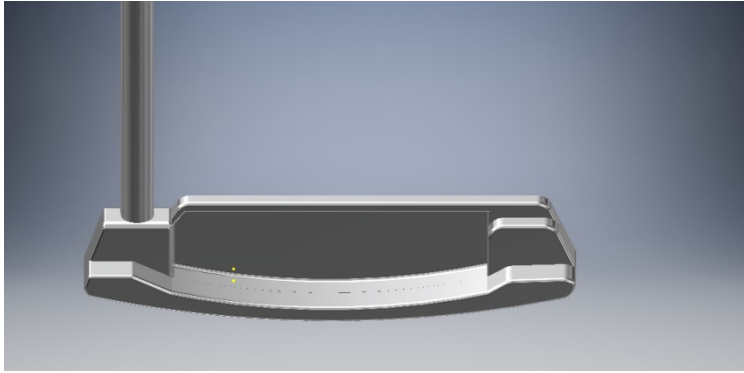




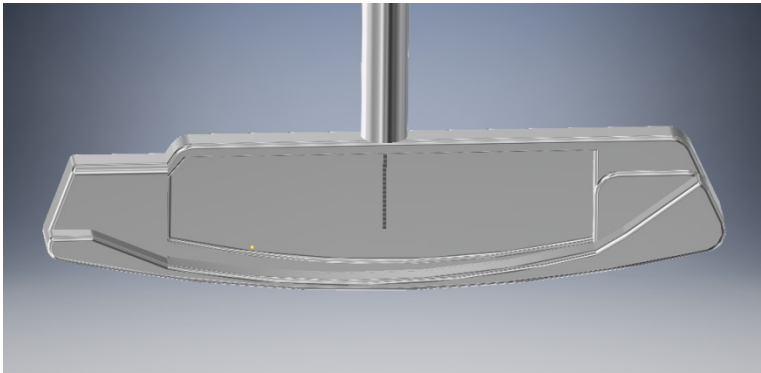
*Gambar 2.4 Face Balanced Putters with insert*



*Gambar 2.5 Toe-Balanced Putter with insert*



Gambar 2.6 *Toe Balanced Putters*



Gambar 2.7 *Face Balanced Putters*

Adapun *face balanced insert* yang dipakai adalah silinder pejal dengan ketinggian 20mm dan jari jari 6mm. Sementara *toe balanced inserts* menggunakan dua silinder pejal dengan ketinggian 20mm dan jari-jari 3mm. Kedua *insert* berbahan dasar *stainless steel*.

### 2.1.4 Material *Putter Head*

Aluminium adalah logam yang menduduki elemen ke 13 dalam tabel periodik. Aluminium adalah metal yang paling banyak tersebar di Bumi setelah oksigen dan silikon. Aluminium mudah terikat dengan elemen lain, maka dari itu jarang ditemukan aluminium murni.

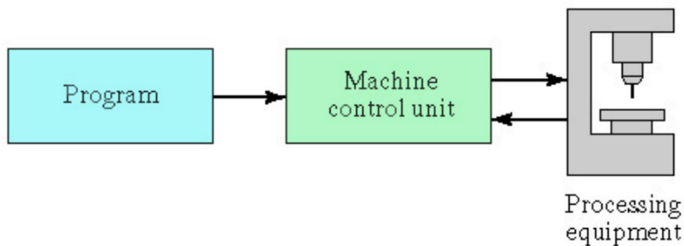
Aluminium memiliki struktur kristal *face-centered cubic* dengan ketahanan korosi, penghantar listrik dan penghantar panas yang baik. Aluminium adalah logam yang ringan karena memiliki berat jenis  $2,7 \text{ gr/cm}^3$  kurang lebih sepertiga berat jenis baja. Menduduki peringkat ketiga dalam hal penghantar listrik setelah perak dan tembaga, memiliki 62% konduktifitas tembaga. Dengan penghantaran panas yang baik, Aluminium banyak digunakan di alat-alat masak [Avner, 1982].

Tabel 2.1 *Mechanical Properties of Aluminium 7075-O*.  
(sumber : [www.matweb.com](http://www.matweb.com))

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	60	60
Hardness, Knoop	80	80
Hardness, Vickers	68	68
Tensile Strength, Ultimate	228 MPa	33000 psi
	$\leq 276 \text{ MPa}$	$\leq 40000 \text{ psi}$
Tensile Strength, Yield	103 MPa	15000 psi
	$\leq 145 \text{ MPa}$	$\leq 21000 \text{ psi}$
Elongation at Break	$\geq 10 \%$	$\geq 10 \%$
	17 %	17 %
	@Thickness 1.59 mm	@Thickness 0.0625 in
	16 %	16 %
	@Diameter 12.7 mm	@Diameter 0.500 in
Modulus of Elasticity	71.7 GPa	10400 ksi
Poissons Ratio	0.33	0.33
Shear Modulus	26.9 GPa	3900 ksi
Shear Strength	152 MPa	22000 psi

### 2.1.5 Proses Manufaktur dengan menggunakan CNC

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah proses manufaktur yang *ter-program* secara komputerisasi dimana gerakan *machine tool* dikontrol dari pemrograman. Pemrograman tersebut terdiri dari data alfanumerik yang mengatur posisi dan bentuk yang harus dibentuk oleh alat pemotong terhadap benda kerja.

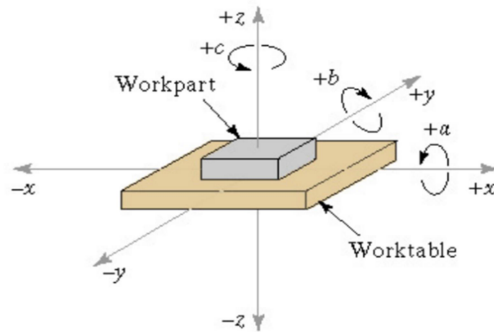


Gambar 2.8 Cara Kerja *Computer Numerical Control* <sup>[6]</sup>

Gambar diatas memperlihatkan keterkaitan *processing equipment* terhadap *Machine Control Unit* dan juga *Program*. *Program* berfungsi sebagai pemberi instruksi kepada *Machine Control Unit* untuk membuat suatu bentuk tertentu. Selanjutnya, *Machine Control Unit* bertindak seperti *processor* yang mengontrol keseluruhan proses yang akan dilakukan oleh *Processing Equipment*. *Processing Equipment* bertindak langsung terhadap pembentukan benda kerja.

Pada penelitian ini, spesimen yang digunakan berbentuk blok *stainless steel 304* maka dari itu sistem koordinat rata dan prismatik digunakan dalam pengerjaan benda kerja sebagai berikut :

1. Aturan tangan kanan
2. Sumbu rotasi pada tiap sumbu linear
3. Sistem koordinat Kartesius



Gambar 2.9 Sistem Koordinat pada spesimen berbentuk rata dan prismatik<sup>[6]</sup>

### 2.1.6 Uji Eksitasi pada *Putter Head*

Pengujian ini menggunakan *Impulse Hammer* sebagai pengganti beban impact dari bola golf terhadap *Putter Head*. *Impulse Hammer* akan memberikan gaya sebesar beban impact bola golf kepada *Putter Head*. Beban dari *Impulse Hammer* akan menciptakan defleksi pada *Putter Head*, sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = k_s X$$

F = gaya static (N)

$k_s$  = static material stiffness (N/m)

X = deformasi static (m)

Kekakuan static adalah kemampuan sebuah struktur dalam menahan beban/ gaya static. Sementara Kekakuan dinamis adalah kemampuan sebuah struktur dalam menahan beban dinamis, yang digambarkan dalam domain frekuensi sebagai berikut.

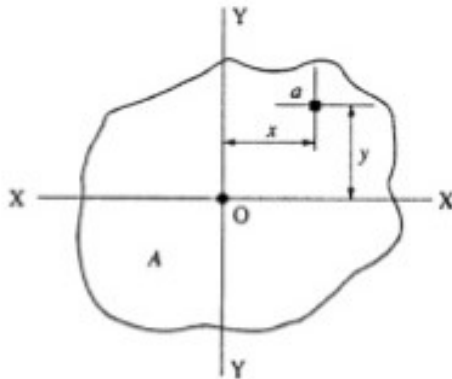
$$k_d = \frac{P(f)}{Y(f)}$$

$P(f)$  = gaya dinamik dalam domain frekuensi

$Y(f)$  = deformasi berbentuk getaran

$k_d$  = kekakuan dinamis

Kekakuan, dipengaruhi oleh bahan material dan juga geometri benda sesuai dengan teorinya. Geometri penampang akan mempengaruhi nilai momen inersia luasan. Hal tersebut menjadi penyebab ketahanan suatu struktur terhadap bending dan torsi juga berbeda. Elemen luasan inersia dianalisa sebagai berikut :<sup>[7]</sup>



Gambar 2.10 Elemen Luasan dalam bidang kartesian

$$I_x = \int y^2 dA$$

$$I_y = \int x^2 dA$$

Rumus diatas dapat digunakan sebagai penghitungan luasan momen inersia sesuai dengan sumbu acuan pembebanan

yang dapat menjadi tolak ukur penghitungan kekakuan suatu struktur. Sementara, untuk menghitung momen inersia digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_o = I_x + I_y$$

### 2.1.7 Eksperimen Analisa Modus Getar

Pengujian analisa modal atau biasa disebut sebagai *Experimental Modal Analysis* berkaitan dengan penentuan frekuensi natural, rasio redaman, serta *mode shape* atau modus getar. *Mode shape* adalah bentuk struktur ketika bergetar pada frekuensi natural. Sementara, Frekuensi alami atau disebut sebagai getaran bebas adalah frekuensi dari sistem yang bergetar secara bebas <sup>[8]</sup>. Metode pengujian ini didasari oleh :

1. Saat adanya gaya eksitasi terhadap sebuah struktur, mesin, atau sistem lainnya , terlihat respon memiliki puncak yang tajam saat beresonansi dan frekuensi gaya eksitasi bernilai sama dengan frekuensi natural sistem dan redaman tidak terlalu besar.
2. Saat gaya eksitasi melewati frekuensi natural struktur atau mesin tersebut, sudut fase dari respon getaran akan berubah 180° dan sudut fase akan mendekati atau sama dengan 90° pada saat resonansi.

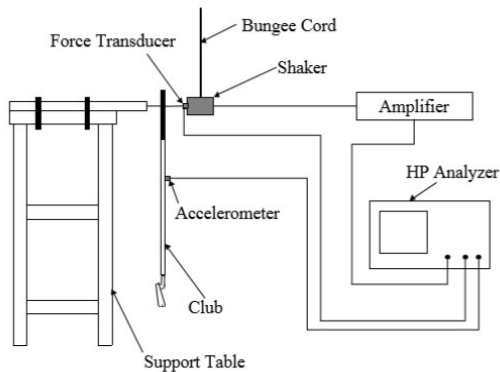
Dalam eksperimen analisis modal, diperlukan peralatan sebagai berikut:

1. Sumber getaran untuk memberikan gaya *input* yang terukur ke struktur atau mesin disebut sebagai *Exciter*.
2. Respon getaran dari mesin atau struktur dikonversi menjadi suatu sinyal listrik menggunakan *Transducer*.
3. Sinyal dari *transducer* dirubah dengan menggunakan *Signal Conditioning Amplifier* sesuai dengan input sinyal ke komponen pengolah data atau sinyal.

4. *Analyzer* untuk menampilkan sinyal digital yang diolah ke *display* sesuai kebutuhan.<sup>[9]</sup>

### 2.1.8 Boundary Conditions

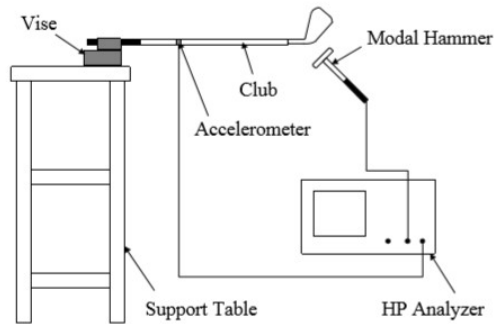
Terdapat 3 jenis *boundary conditions* yang dapat dilakukan dalam penelitian ini. Pertama-tama adalah *free-free boundary condition*, lalu *clamped-free boundary condition*, dan *hands-free boundary condition*. Tetapi, dipilih *clamped-free boundary condition* karena peletakkan *grip* sesuai dengan kegunaan sebenarnya. *Boundary condition* ini berbeda satu dengan yang lainnya pada saat eksperimen dengan penempatan dan perlakuannya terhadap *grip*. Berikut adalah ilustrasi yang menggambarkan *boundary condition* tersebut.



Gambar 2.11 *Free-free Boundary Condition*<sup>[11]</sup>

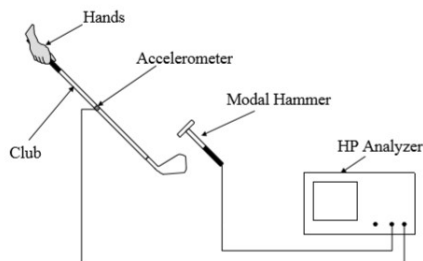
Pada *free-free boundary condition*, posisi *putter golf* dibiarkan pada kondisi mengantung dengan *support rubber*. *Boundary condition* ini banyak digunakan di eksperimen sebagai pembandingan antara satu jenis *putter* dengan jenis lainnya.





Gambar 2.12 *Clamped-Free Boundary Conditions*<sup>[11]</sup>

Pada *clamped-free boundary conditions*, pada bagian *grip* di-*fixed* menggunakan ragum yang berada di *support table*. *Boundary condition* ini paling mudah dipasang pada eksperimen karena kemampuan ragum untuk menyesuaikan dengan ukuran *grip* yang ada. Pada pengujian ini menggunakan *clamped-free boundary condition* karena menyerupai penggunaan golf sebenarnya.



Gambar 2.13 *Hands-Free Boundary Conditions*<sup>[11]</sup>

Pengujian ini paling jarang digunakan karena menggunakan tangan dalam eksperimen ini dapat mempengaruhi pembacaan *accelerometer*. Meskipun dianggap paling mewakili diantara yang lainnya, pengujian ini tidak begitu disukai karena membuat hasil eksperimen menjadi bias.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini, antara lain :

1. *CNC Machine*
2. Alat uji eksitasi
3. Alat ukur : penggaris dan jangka sorong
4. *Creaform 3D Scanner*

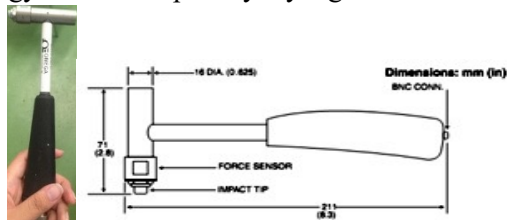
Material yang digunakan adalah Aluminium 7075 dengan variasi centre of gravity

### 3.2 Alat Bantu Penelitian

Alat bantu uji coba pada penelitian ini adalah alat uji eksitasi untuk mendapatkan frekuensi natural dan *mode shape* dari *putter head*. Alat-alat yang digunakan pada pengujian eksitasi adalah *impulse hammer*, *power supply*, *analog to digital converter (ADC)*, dan *accelerometer*.

#### 3.2.1 *Impulse Hammer Tipe IH 101-1K Omega*

Alat ini mewakili beban *impact* yang terjadi antara bola golf dengan *putter head*. Besar gaya eksitasi yang diberikan akan diukur oleh salah satu bagian dari *impulse hammer* yang disebut sebagai *transducer*. Besar energy eksitasi dikonversikan kedalam bentuk energy listrik berupa sinyal yang bersifat analog.



Gambar 3.1 *Impulse Hammer Tipe IH 101-1K Omega*.

### 3.2.2 Power Supply ACC-PS1 Omega

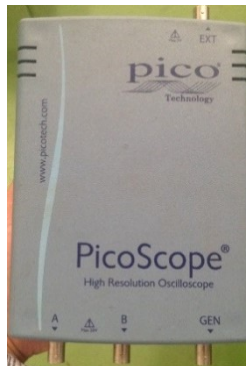
*Transducer* dan *Impulse Hammer* membutuhkan sumber arus sensor dinamik yang didapatkan dari *Power supply*. Arus dan tegangan yang diberikan oleh *Power Supply* bersifat konstan dan tidak dapat diatur. *Power supply* memberikan arus sebesar 2mA dengan tegangan sebesar +18VDC.



Gambar 3.2 *Power Supply* ACC-PS1 Omega.

### 3.2.3 Analog to Digital Converter Tipe ADC-214 Pico-Technology

Hasil yang didapatkan dari alat ini merupakan sinyal digital yang diproses menggunakan bantuan *software PicoScope* dalam pengolahannya.



Gambar 3.3 *Analog to Digital Converter* Tipe ADC-214 *Pico-Technology*.

### 3.2.4 General Purpose Accelerometer Tipe Omega

Respon getaran yang berbentuk akselerasi di tempat yang tetap pada satu arah diukur dengan menggunakan *Accelerometer*. Sensitifitas dari *Accelerometer* ini adalah 100 mV/g. *Accelerometer* ditempatkan pada titik yang ingin dibaca frekuensinya.



Gambar 3.4 *General Purpose Accelerometer* Tipe Omega.

### 3.2.5 Instalasi Alat Uji Eksitasi

Alat-alat tersebut diinstalasi dengan skema sebagai berikut :





Gambar 3.5 Instalasi Alat Uji Eksitasi.

### 3.2.6 Langkah Kerja *Experimental Modal Analysis*

Adapun langkah kerja dari *experimental modal analysis* (tes modal) adalah sebagai berikut :

#### 1. Persiapan Spesimen dan Peralatan Uji

Pada saat melakukan eksperimen, digunakan *software Picoscope 6* untuk membantu *Picotech* dalam menganalisa data. Berikut adalah *setting picoscope 6* yang digunakan pada eksperimen ini



Gambar 3.6 *Set-up* perangkat lunak *Picoscope 6*.

#### 2. Pemberian Gaya Eksitasi

*Hammer impuls* akan memberikan gaya eksitasi kepada titik yang telah di-tandai. Titik-titik ini masing-masing berjarak 2,5 cm

satu dengan yang lainnya. Pada *Putter Head* terdapat 5 titik, sementara pada *shaft* menyesuaikan dari panjang *shaft* tersebut. Eksitasi dilakukan selama 15 kali untuk memastikan bahwa data yang diolah adalah data yang valid.



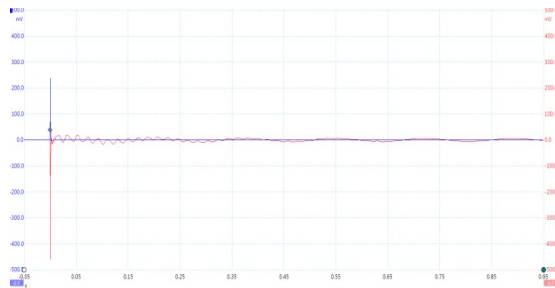
Gambar 3.7 Pemberian Gaya Eksitasi pada *Putter Golf*.

### 3. Penyimpanan Data

Hasil pembacaan eksperimen disimpan dalam dua format yaitu (.txt) dan (.psdata). Data dari (.psdata) akan digunakan untuk memilih data mana yang akan di proses, sementara data yang memiliki format (.txt) akan digunakan untuk pengolahan data pada *Mathcad*. Gambar 3. merupakan contoh data dalam format *Picoscope Data File* sementara gambar 3. merupakan contoh data dalam format *Text Document* (.txt).

Time (ms)	Channel (mV)	A (mV)	Channel B
-50.08436367		0.04577776	-0.10681480
-49.58436370		0.01525925	-0.03051851
-49.08436374		0.07629627	-0.06103702
-48.58436377		-0.04577776	-0.07629627
-48.08436381		0.00000000	-0.09155552
-47.58436384		0.09155552	0.03051851
-47.08436388		0.09155552	0.01525925
-46.58436391		0.12207400	-0.04577776
-46.08436394		0.06103702	0.01525925
-45.58436398		0.04577776	-0.09155552
-45.08436401		0.12207400	0.04577776
-44.58436405		0.12207400	0.01525925
-44.08436408		0.18311100	0.22888880
-43.58436412		0.27466660	0.42725910
-43.08436415		-0.38148130	-0.50355540
-42.58436419		0.01525925	0.01525925
-42.08436422		0.09155552	0.09155552
-41.58436425		-0.03051851	-0.10681480
-41.08436429		0.01525925	-0.06103702
-40.58436432		0.01525925	0.01525925
-40.08436436		0.03051851	-0.09155552
-39.58436439		0.06103702	-0.09155552
-39.08436443		0.03051851	-0.07629627
-38.58436446		0.03051851	0.07629627
-38.08436450		0.00000000	-0.13733330
-37.58436453		0.07629627	0.00000000
-37.08436457		0.07629627	0.01525925

Gambar 3.8 Contoh Data dalam Format *Text Document* (.txt)

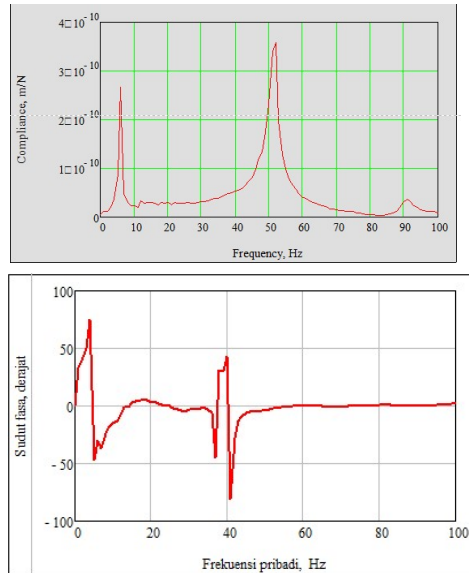


Gambar 3.9 Contoh Data dalam Format *Picoscope Data File*.

#### 4. Pengolahan Data

Data yang memiliki format (.txt) diolah menggunakan *software Mathcad*. Data yang diolah merupakan percepatan dan gaya ekstasi dalam domain waktu yang didapatkan dari perangkat lunak *Picoscope6*. *Output* dari pemrosesan data *Mathcad* adalah frekuensi natural, *compliance* dan sudut fasa.





Gambar 3.10 Hasil Pengolahan Data dengan Perangkat Lunak *Mathcad*.

## 5. Plot Data

Plot data yang diperoleh dari *Mathcad* dalam sebuah table. Setelah itu, data diplot kedalam grafik untuk menganalisa bentuk *modeshapes* pada frekuensi natural yang ada di masing-masing titik. Nantinya grafik akan dibuat sebagai perbandingan bagi kedua hasil untuk di analisa lebih lanjut.

### **3.3 Langkah – langkah Penelitian**

Langkah – langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### **3.3.1 Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian**

Perumusan masalah dan batasan masalah ditetapkan untuk memperjelas lingkup penelitian. Setelah itu, ditetapkan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan.

#### **3.3.2 Studi Literatur**

Studi literatur merupakan proses ulasan terhadap media-media yang digunakan sebagai referensi. Dalam penelitian ini digunakan buku serta materi kuliah terkait dan media *online* (*online journal*) yang selanjutnya digunakan sebagai referensi atau pustaka. Serta menentukan spesifikasi dan regulasi yang tepat sesuai dengan *putter head* yang ada di pasaran.

#### **3.3.3 Desain**

Pada penelitian ini *putter head* di buat dengan desain *PING Anser Karsten TR* yang di modifikasi. Desain dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*, dengan mempertimbangkan letak *centre of gravity* dan pemberian material tambahan.

#### **3.3.4 Penentuan Material**

Pemilihan material dipilih berdasarkan regulasi dan spesifikasi bagi *putter head* serta tambahan (insert) merujuk pada tujuan dan hasil yang diharapkan

#### **3.3.5 Simulasi Analisa Modus Getar**

Dilakukan simulasi pengujian modus getar dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2017*. Data yang diambil adalah data dari 6 titik pembacaan yang berbeda terhadap

setiap sampel. Hasil simulasi dicatat untuk selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengujian modulus getar terhadap *Putter head* Odyssey sebagai pembanding. Simulasi terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Proses penentuan geometri benda

Geometri benda yang telah di *assembly* dan ditentukan materialnya menggunakan software Autodesk Inventor dimasukkan kedalam sub-menu *Environment*

2. Proses input *Fixed Component*

Benda yang bersentuhan langsung dengan tangan, dalam hal ini *grip* dijadikan *fixed component* melalui sub-menu *Fixed*

3. Proses input *Loading* dan *Constraint*

Benda yang bersentuhan langsung dengan bola, dalam hal ini adalah *putter face* diberi gaya eksitasi sesuai dengan arah tumbukan

4. Proses *Modelling*

Pada proses ini terdiri dari *meshing* dan *setting* banyak *mode* yang akan digunakan sesuai dengan kepresisian dan hasil yang diinginkan. *Modal Analysis Simulation* berada pada sub-menu *Stress Analysis* dengan input *modes*.

5. Proses *Running* dan Hasil Simulasi

Setelah dilakukan *setting* sesuai dengan kondisi yang diinginkan, dilakukan pemilihan data yang ingin ditinjau. Pada simulasi ini, frekuensi yang dipilih adalah frekuensi pada getaran yang mempengaruhi pemukulan bola, yaitu getaran di bidang z ( $F_1 F_2 F_3 F_4 F_6 F_7$ )

### 3.3.6 Analisa Modus Getar Terhadap *Putter Head Odyssey*

Dilakukan pengujian dengan cara pemberian beban *impact* terhadap *putter head* yang menjadi *benchmark*, dalam hal ini adalah *Putter Head Odyssey* dengan menggunakan *impulse*

*hammer*. Besar beban *impact* disesuaikan dengan *impact* maksimum yang terjadi antar *putter head* dengan bola golf. Dari pengujian modus getar, data yang didapat adalah bentuk *frequency domain* sebagai hasil olahan data dari *MathCad* (*software*), yang akan dibandingkan dengan frekuensi natural hasil simulasi pada *putter custom*.

### **3.3.7 Penentuan Desain**

Dari hasil analisa modus getar terhadap *putter head custom* yang didapatkan dari simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor 2017* dan eksperimen terhadap *Putter Head Odyssey*. Ditentukan hasil uji *putter head custom* yang paling mendekati dengan *Putter Head* pembanding, dua hasil uji yang paling mendekati akan dibuat dan dianggap sebagai *putter head* yang terbaik dari seluruh rancangan.

### **3.3.8 Proses Pembuatan Putter Head dengan CNC**

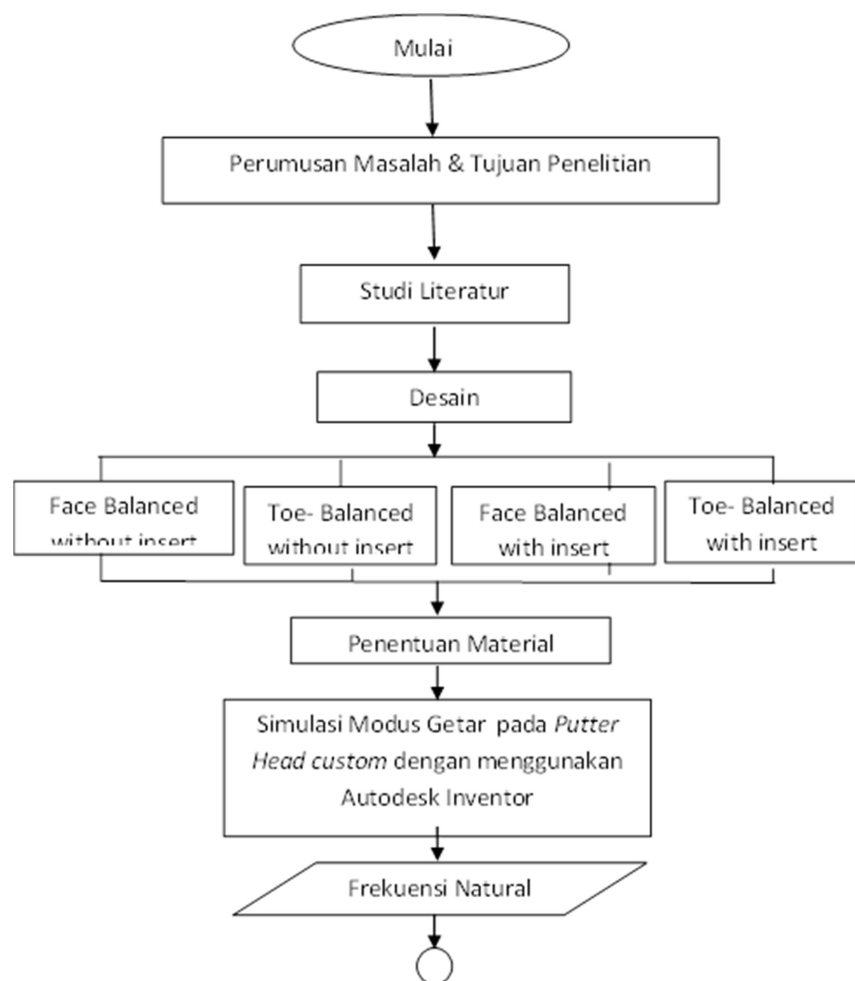
#### ***Machining***

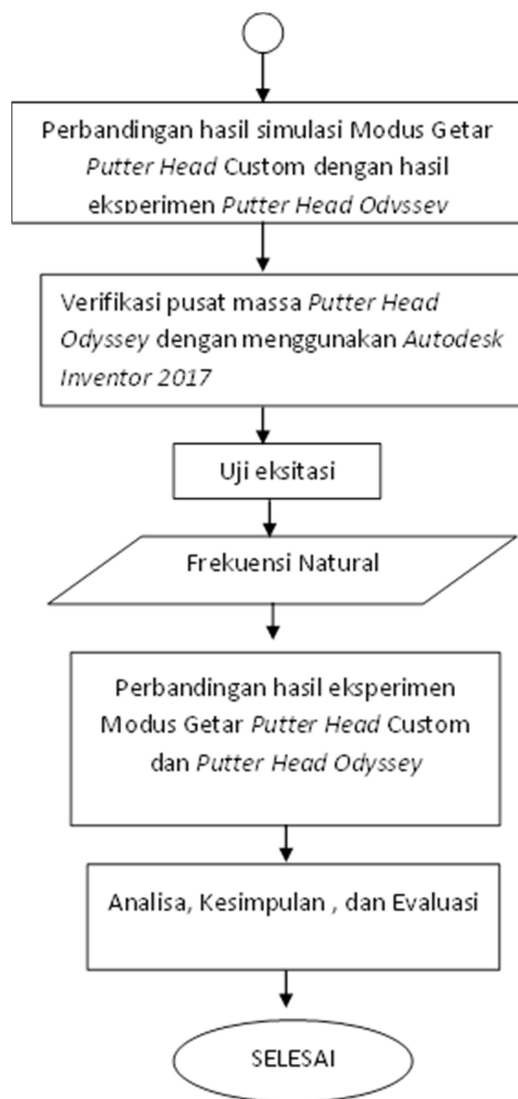
Dua material yang berbentuk balok berukuran 20 cm x 5 cm x 5 cm dibentuk dengan *CNC Machine* menggunakan program yang telah dibuat dengan CAD dari desain *putter head* yang telah ditentukan sebagai nilai yang paling mendekati respon getaran benda pembanding.

### **3.3.9 Analisa Hasil Eksperimen**

Setelah mendapatkan hasil eksperimen dan membandingkan hasil eksperimen benda uji dengan hasil eksperimen benda pembanding. Dapat diperoleh kesimpulan dari penelitian ini setelah dilakukan pengolahan dan analisa data sesuai dengan teori yang didapat dari studi literatur sebelumnya. Kesimpulan tersebut akan disusun menjadi hasil akhir bagi pengujian guna menentukan respon modus getar benda uji yang paling mendekati dengan respon modus getar benda pembanding

### 3.4 Flowchart Percobaan





## **BAB IV**

### **DATA AWAL MODUS GETAR PUTTER CUSTOM**

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi terlebih dahulu sebagai penentu *putter custom* yang akan di produksi dan melalui tahapan eksperimen. Secara teoritis, massa benda yang tertera pada *software Autodesk Inventor* sama dengan massa benda aslinya karena massa jenis material pada wujud asli dan *software* dianggap sama.

#### **4.1 Data awal Putter Custom**

Data yang tercantum adalah data yang dapat mempengaruhi hasil penelitian serta data yang dapat mendukung analisa permasalahan. Adapun data yang diambil adalah data yang meliputi dimensi benda, berat benda, letak pusat massa benda, dengan material *Aluminium AISI 7075*. Data awal yang dibutuhkan adalah :

1. Dimensi *Putter* :

*Putter Custom* yang diinginkan memiliki dimensi sebagai berikut ;

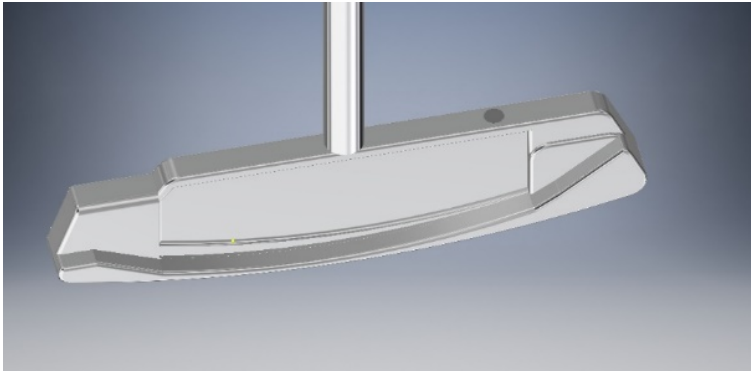
Massa : 675 gram

Bahan *Putter Head* : Aluminium AISI 7075

Bahan *Grip* : Rubber

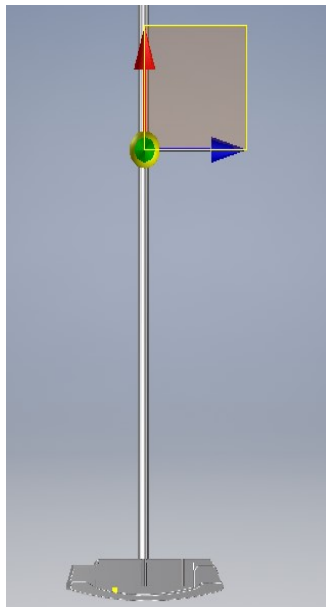
Bahan *Shaft* : Carbon Steel

Pada rules yang ada di USGA<sup>[4]</sup> dinyatakan bahwa massa total *Putter Golf* minimal memiliki massa sebesar 300 gram sampai 800 gram. Sehingga *Putter Custom* yang telah di desain memenuhi peraturan yang ada pada USGA. Berdasarkan data acuan dari dimensi *Putter Custom* yang diinginkan tersebut, telah dibuat 4 (empat) desain yang memenuhi kriteria dimensi serta mencakup pokok permasalahan yang telah dibuat. Letak perbedaan pusat massa digambarkan pada modifikasi desain *putter head* sebagai berikut.



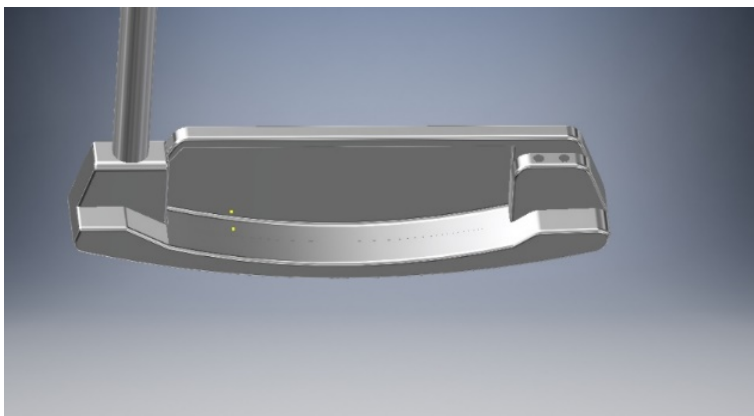
Gambar 4.1.1 *Face Balanced Putters with Insert*

Letak pusat massa pada desain ini terletak pada :  
Sumbu (x,y,z): (268,398 mm; 450,115 mm; -128,796 mm)



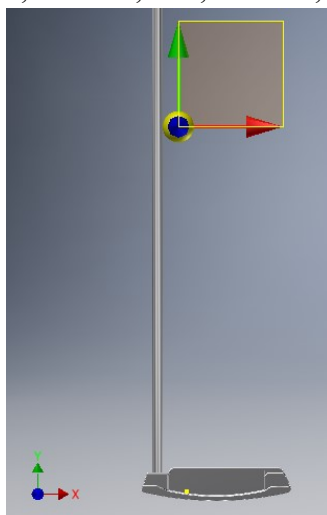
Gambar 4.1.2 Letak pusat massa pada *Face Balanced Putters with Insert*



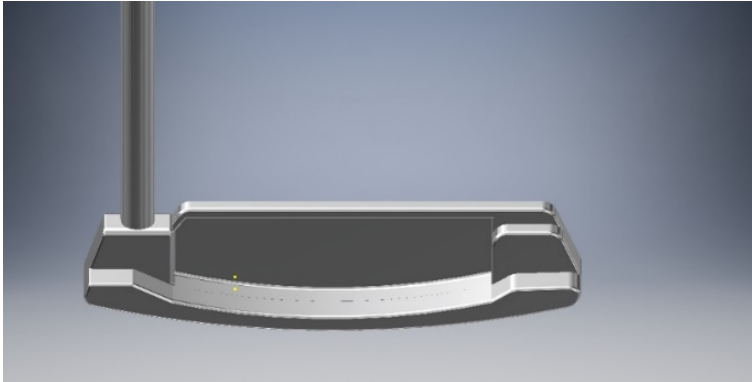


Gambar 4.1.3 *Toe Weighted Putters with Insert*

Letak pusat massa pada desain ini terletak pada :Sumbu  
 $(x,y,z)$ :  $(-50,886 \text{ mm}; 338,059 \text{ mm}; -4,302 \text{ mm})$

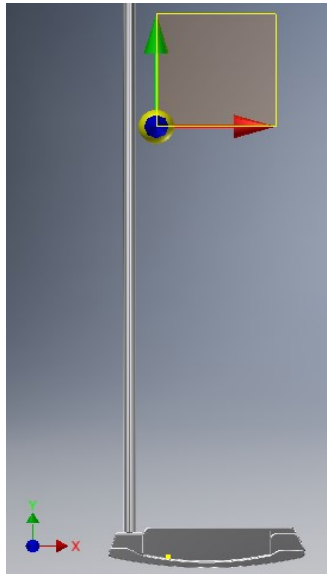


Gambar 4.1.4 Letak pusat massa pada *Toe Weighted Putters with Insert*

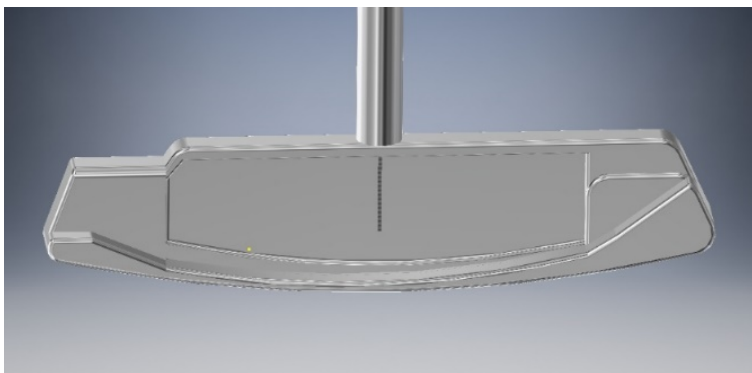


Gambar 4.1.5 *Toe Weighted Putters*

Letak pusat massa pada desain ini terletak pada : Sumbu (x,y,z):  
 (-44,825 mm; 344,156 mm;-159,959 mm)

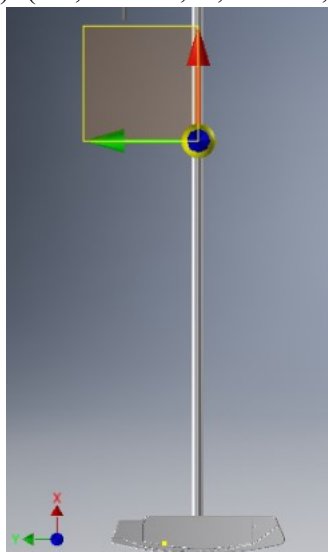


Gambar 4.1.6 Letak pusat massa pada *Toe Weighted Putters*



Gambar 4.1.7 *Face Balanced Putters*

Letak pusat massa pada desain ini terletak pada  
Sumbu (x,y,z): (-94,229 mm;71,660 mm;-106,130 mm)



Gambar 4.1.8 Letak pusat massa *Face Balanced Putters*

## 4.2 Putter Benchmark

Untuk menentukan *putter custom* mana yang memiliki nilai frekuensi natural mendekati dengan *putter* dipasaran, digambar ulang sebuah *putter golf* bermerk *Odyssey*. *Odyssey* dipilih karena merupakan *putter golf* yang paling laku dan produksi dimulai dari 50 tahun yang lalu. dengan dimensi sebagai berikut;

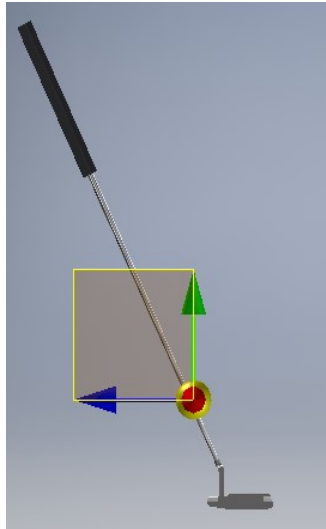
Massa	: 513 gram
Bahan <i>Putter Head</i>	: Carbon Steel
Bahan <i>Shafts</i>	: Aluminium 6061
Bahan <i>white insert</i>	: Stainless Steel
Bahan <i>deep insert</i>	: Carbon Steel

Sebelumnya telah dilakukan 3D *Scanning* terhadap *putter golf* yang asli, hanya saja hasil dari 3D *Scanning* tidak dapat langsung dianalisa melainkan harus digambar ulang. Hasil 3D *Scanning* tidak merupakan benda pejal menyerupai benda sebenarnya. Material yang digunakan pada *putter golf* ini-pun tidak dijabarkan oleh pencipta. Sehingga penulis menggambar ulang dan memilih material sesuai dengan massa benda yang telah diukur sebelumnya. Berikut adalah hasil dari penggambaran ulang *Odyssey*



Gambar 4.2.1 *Putter Head Odyssey*

Letak pusat massa pada desain ini terletak pada :  
 Sumbu (x,y,z): (-273,254 mm; -633,293 mm; -454,055 mm)



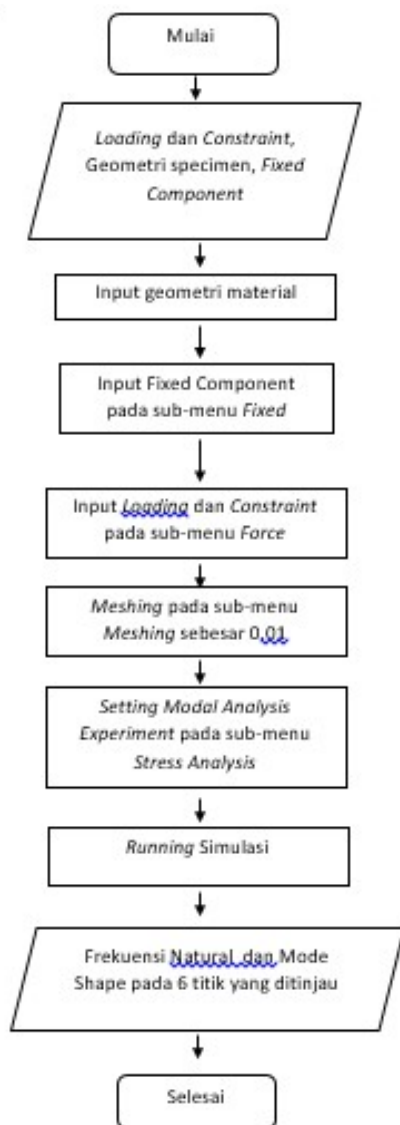
Gambar 4.2.2 Letak pusat massa *Putter Head Odyssey*

#### 4.3 Tahap Pelaksanaan Simulasi dan Data Hasil Simulasi

Pada sub-bab ini akan dijabarkan mengenai tahapan simulasi *Putter Custom* menggunakan *software Autodesk Inventor*. Simulasi yang dilakukan adalah simulasi *modal analysis* pada *face balanced putter*, *toe balanced putter*, *toe balanced with insert putter*, dan *face balanced with insert putters*.

Simulasi dengan *software* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui frekuensi natural dan *mode shape* pada setiap desain. Frekuensi natural dan *mode shape* didapatkan melalui pemberian gaya eksitasi yang mewakili gaya pemukulan antara *putter* dengan *golf ball*. Hasil simulasi akan menjadi penentu desain yang akan di *machining* dengan CNC dan melalui tahapan eksperimen *modal analysis*. Simulasi tersebut akan menggambarkan pengaruh perbedaan pusat massa terhadap respon getaran akibat adanya gaya eksitasi.

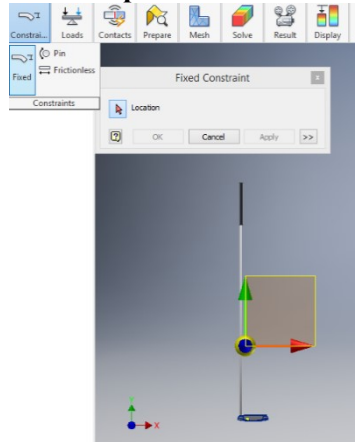
### 4.3.1 Flowchart Simulasi



### 4.3.2 Input Geometri Material

*Geometry input* adalah penggunaan model 3D yang telah dibuat pada *software Autodesk Inventor* pada simulasi yang akan dijalankan. Desain 3D yang telah dibuat sesuai dengan parameter yang diinginkan dilanjutkan kedalam simulasi dengan memilih menu *environments*.

### 4.3.3 Input Fixed Component

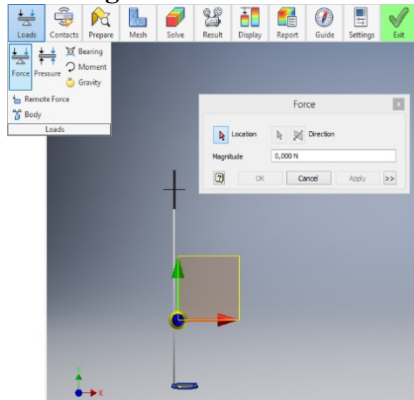


Gambar 4.3.1 *Input Fixed Components*

Pada tahap selanjutnya, sebelum diberikan gaya eksitasi komponen di *fixed* kan terlebih dahulu agar didapatkan frekuensi natural yang sesungguhnya pada model 3D. Daerah yang di-*fixed* kan adalah daerah dimana stik golf umumnya dipegang, yaitu sepanjang daerah berwarna hitam



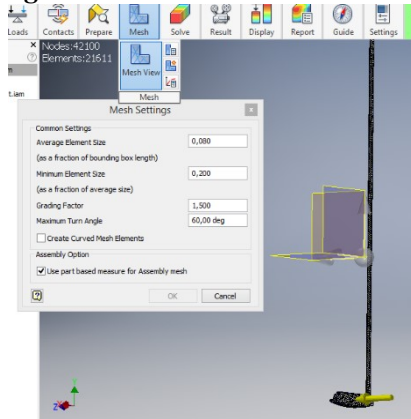
#### 4.3.4 Input Loading dan Constraint



Gambar 4.3.2 *Input Loading dan Constraint*

Setelah itu, model 3D dikenai gaya eksitasi yang mewakili tumbukkan antara bola golf dengan stik golf. Gaya eksitasi dikenai pada bagian tengah *putter head face* karena bagian tersebut adalah tempat dimana tumbukkan terjadi. Gaya eksitasi akan menimbulkan respon getaran yang menggambarkan frekuensi natural.

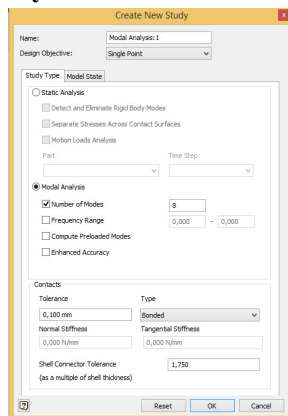
### 4.3.5 Meshing



Gambar 4.3.3 Meshing

*Meshing* dilakukan untuk membuat kondisi batas dan parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan dalam volume-volume kecil. Semakin kecil nilai *meshing*, semakin mewakili simulasi tersebut terhadap kejadian nyata.

### 4.3.6 Modal Analysis Simulation



Gambar 4.3.4 Modal Analysis Simulation

Untuk memulai model 3D menjadi bahan simulasi, diawali dengan pemilihan menu *stress analysis* dan memilih *modal analysis study*. Terdapat pilihan *number of modes* untuk menentukan berapa banyak *modes* yang ingin di analisa dalam simulasi.

#### **4.3.7 Running Simulasi**

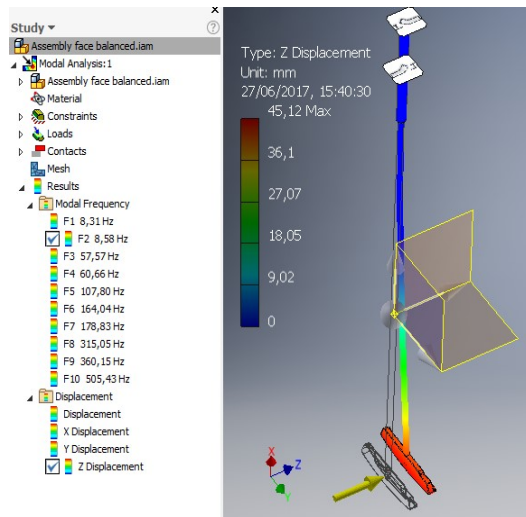
Untuk memulai simulasi, menu *solve* dipilih lalu saat seluruh material pada model 3D dinyatakan tepat, barulah simulasi akan berjalan. Jika tidak tepat, akan tertulis *command error* yang mengharuskan penggantian material melalui sub-menu *assigned materials*.

#### **4.4 Hasil Simulasi *Putter Golf Custom***

Setelah dilakukan tahapan-tahapan simulasi sesuai dengan yang telah dijabarkan sebelumnya, sepuluh *mode shapes* menghasilkan frekuensi natural yang berbeda-beda dengan lima *displacement*. Setelah pemberian gaya eksitasi sebesar 10 N sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan. Pemberian gaya eksitasi pada tiap rancangan dilakukan pada titik yang sama, yaitu pada bagian tengah *clubface* yang mana akan menjadi tempat terjadinya tumbukan antara *putter face* dengan bola golf. Berikut adalah frekuensi natural yang didapatkan dari tiap-tiap *mode shapes*. Dari *modeshapes* tersebut, terdapat tiga jenis *plane* yang terjadi pada *putter* yaitu, *droop plane*, *swing plane*, dan *torsional plane*. Secara umum, *plane* yang paling berpengaruh terhadap akurasi pemukulan bola adalah *swing plane*. Pada penelitian ini, yang di-analisa hanyalah frekuensi natural yang memiliki *modeshapes* pada *swing plane* dan hanya meninjau *Z-displacement* karena mempengaruhi pemukulan bola golf.

##### **4.4.1 Face Balanced Putters**

Sesuai dengan teori yang telah dijabarkan sebelumnya, telah dirancang sebuah *putter* yang memiliki letak pusat massa sesuai dengan *face-balanced putters*.



Gambar 4.4.1 Hasil Simulasi *Face Balanced Putters*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.3.1 menghasilkan 10 *modeshapes* yang memiliki masing-masing 10 frekuensi natural yang berbeda sebagai berikut.

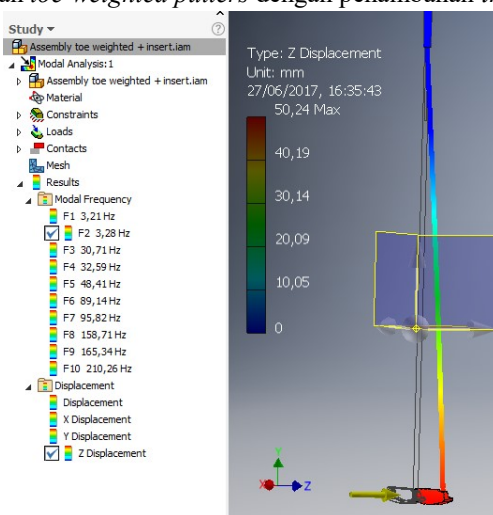
Tabel 4.4.1 Hasil Frekuensi dan *Modeshapes Face Balanced Putters*

Modeshapes	Frekuensi	Plane
1	8,31 Hz	Droop
2	8,58 Hz	Swing
3	57,57 Hz	Torsional
4	60,66 Hz	Torsional
5	107,8 Hz	Swing
6	164,04 Hz	Torsional
7	178,83 Hz	Torsional
8	315,05 Hz	Torsional
9	360,15 Hz	Torsional
10	505,43 Hz	Torsional

Frekuensi natural 8,58 Hz dipilih dibandingkan dengan 107,8 Hz karena pada frekuensi natural 8,58 Hz *displacement* maksimum yang terjadi bernilai lebih besar dibandingkan *displacement* yang terjadi pada 107,8 Hz. *Z-Displacement* yang terjadi pada simulasi *modal analysis face balanced putters* ini bernilai secara berurutan dari minimum sampai maksimum sebesar 0 mm; 9,02 mm; 18,05 mm; 27,07 mm; 36,1 mm; 47,16 mm.

#### 4.4.2 Toe Weighted Putters dan Insert

Sesuai dengan teori yang telah dijabarkan sebelumnya, telah dirancang sebuah *putter* yang memiliki letak pusat massa sesuai dengan *toe-weighted putters* dengan penambahan *insert*.



Gambar 4.4.2 Hasil Simulasi *Toe Weighted Putters and Insert*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.3.2 menghasilkan 10 *modeshapes* yang memiliki masing-masing 10 frekuensi natural yang berbeda sebagai berikut.

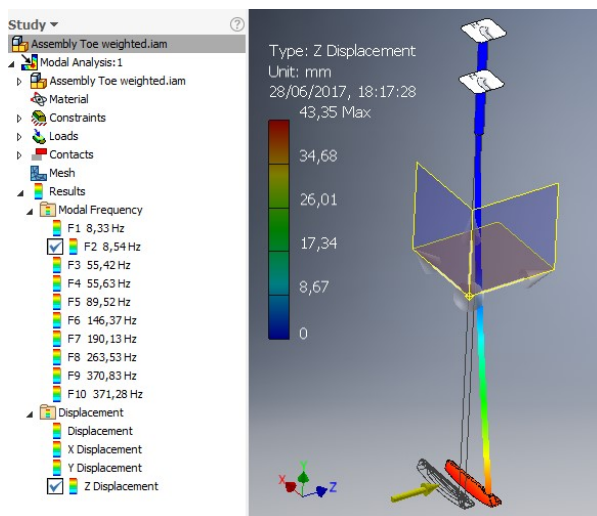
Tabel 4.4.2 Hasil Frekuensi dan *Modeshapes Toe Weighted Putters and Insert*

Modeshapes	Frekuensi	Plane
1	3,21 Hz	Droop
2	3,28 Hz	Swing
3	30,71 Hz	Torsional
4	32,59 Hz	Torsional
5	48,41 Hz	Droop
6	89,14 Hz	Torsional
7	95,82 Hz	Torsional
8	158,71 Hz	Torsional
9	165,34 Hz	Torsional
10	210,26 Hz	Torsional

*Z-Displacement* yang terjadi pada simulasi *modal analysis Toe Weighted and Insert putters* ini pada frekuensi 3,28 Hz bernilai secara berurutan dari minimum sampai maksimum sebesar 0 mm; 10,05 mm; 20,09 mm; 30,14 mm; 40,19 mm; 50,24 mm.

#### 4.4.3 Toe Weighted Putters

Sesuai dengan teori yang telah dijabarkan sebelumnya, telah dirancang sebuah *putter* yang memiliki letak pusat massa sesuai dengan *toe-weighted putters*.



Gambar 4.4.3. Hasil Simulasi *Toe Weighted Putters*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.3.2 menghasilkan 10 *modeshapes* yang memiliki masing-masing 10 frekuensi natural yang berbeda sebagai berikut.

Tabel 4.4.3 Hasil Frekuensi dan *Modeshapes Toe Weighted Putters*

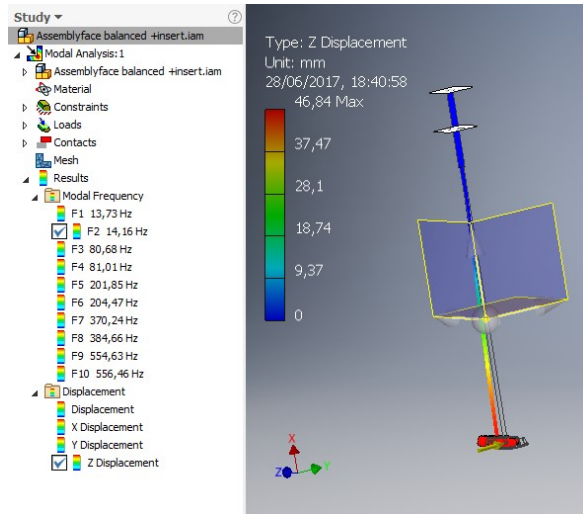
Modeshapes	Frekuensi	Plane
1	8,33 Hz	Droop
2	8,54 Hz	Swing
3	55,42 Hz	Torsional
4	55,63 Hz	Torsional
5	89,52 Hz	Torsional
6	146,37 Hz	Torsional
7	190,13 Hz	Torsional
8	263,53 Hz	Torsional
9	370,83 Hz	Torsional
10	371,28 Hz	Torsional



*Displacement* yang terjadi pada simulasi *modal analysis Toe Weighted putters* ini bernilai secara berurutan dari minimum sampai maksimum sebesar 0 mm; 8,67 mm; 17,34 mm; 26,01 mm; 34,68 mm; 43,35 mm.

#### 4.4.4 Face Balanced Putters dan Insert

Sesuai dengan teori yang telah dijabarkan sebelumnya, telah dirancang sebuah *putter* yang memiliki letak pusat massa sesuai dengan *face balanced putters* dengan penambahan *insert*.



Gambar 4.4.4 Hasil Simulasi *Face Balanced Putters and Insert*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.3.2 menghasilkan 10 *modeshapes* yang memiliki masing-masing 10 frekuensi natural yang berbeda sebagai berikut.

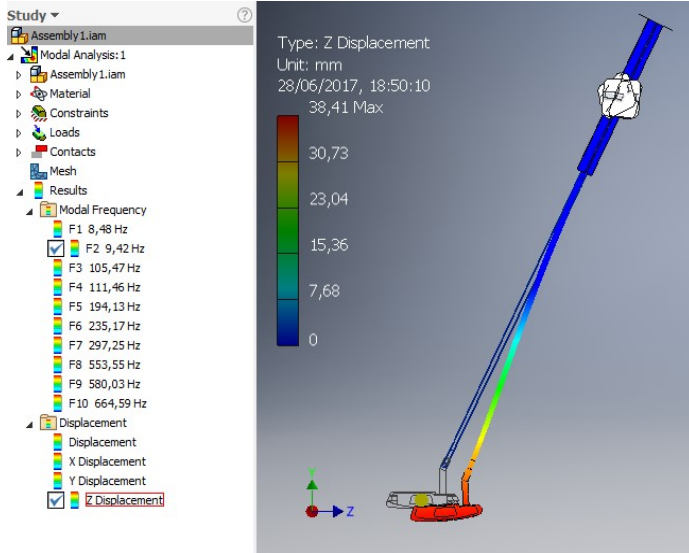
Tabel 4.4.4 Hasil Frekuensi dan *Modeshapes Face Balanced Putters* dengan insert

Modeshapes	Frekuensi	Plane
1	13,73 Hz	Swing
2	14,16 Hz	Swing
3	80,68 Hz	Torsional
4	81,01 Hz	Torsional
5	201,85 Hz	Torsional
6	204,47 Hz	Torsional
7	370,24 Hz	Torsional
8	384,66 Hz	Torsional
9	554,63 Hz	Swing
10	556,46 Hz	Torsional

Frekuensi natural 14,16 Hz dipilih dibandingkan dengan 13,73 Hz dan 554,63 Hz karena pada frekuensi natural 14,16 Hz *displacement* maksimum yang terjadi bernilai lebih besar dibandingkan *displacement* yang terjadi pada kedua frekuensi natural lainnya. *Z-Displacement* yang terjadi pada simulasi *modal analysis Toe Weighted putters* ini bernilai secara berurutan dari minimum sampai maksimum sebesar 0 mm; 9,37 mm; 18,74 mm; 28,1 mm; 37,47 mm; 46,84 mm.

Sesuai dengan hasil simulasi yang telah dilakukan pada *putter head custom* dan *putter head benchmark*, didapatkan hasil *displacement* serta frekuensi natural yang beragam. Data-data tersebut menggambarkan arah getaran yang berbeda pada tiap-tiap besaran frekuensi yang berbeda yang disebut dengan *modeshapes*. Karena arah *displacement* pada eksperimen adalah arah campuran dari *z displacement*, *y displacement*, *x displacement*. Maka hasil simulasi yang di analisa adalah *displacement* secara keseluruhan sesuai dengan yang terbaca pada eksperimen.

## 4.5 Hasil Simulasi Putter Golf Benchmark



Gambar 4.1. Hasil Simulasi *Odyssey Putter*

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 4.3.2 menghasilkan 10 *modeshapes* yang memiliki masing-masing 10 frekuensi natural yang berbeda sebagai berikut.

Tabel 4.5.1 Hasil Frekuensi dan *Modeshapes Odyssey Putter*

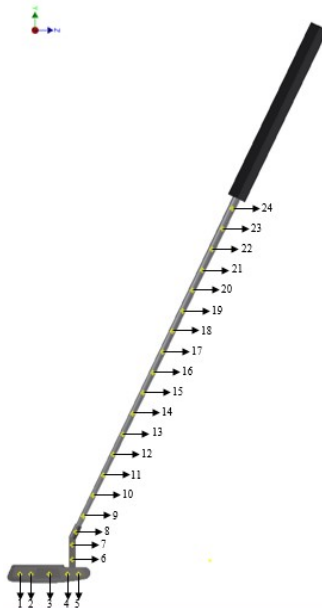
Modeshapes	Frekuensi	Plane
1	8,48 Hz	Swing
2	9,42 Hz	Swing
3	105,47 Hz	Torsional
4	111,46 Hz	Torsional
5	194,13 Hz	Torsional
6	235,17 Hz	Torsional
7	297,25 Hz	Torsional
8	553,55 Hz	Torsional
9	580,03 Hz	Torsional
10	664,59 Hz	Torsional

Frekuensi natural 9,42 Hz dipilih dibandingkan dengan 8,48 Hz karena pada frekuensi natural 9,42 Hz *displacement* maksimum yang terjadi bernilai lebih besar dibandingkan *displacement* yang terjadi pada 8,48 Hz. *Displacement* yang terjadi pada simulasi *modal analysis Toe Weighted putters* ini bernilai secara berurutan dari minimum sampai maksimum sebesar 0 mm; 7,68 mm; 15,36 mm; 23,04 mm; 30,73 mm; 38,41 mm.

#### **4.6 Hasil Eksperimen Putter Golf Benchmark**

Sesuai dengan metode eksperimen yang telah dijabarkan sebelumnya. Dilakukan eksperimen dengan menggunakan *clamped-free boundary condition*. Penempatan *accelerometer* pada *toe-clubface* dan *grip* dari *putter golf* yang di ragum untuk menciptakan suasana pemukulan yang sebenarnya. Berikut adalah hasil dari eksperimen yang telah dilakukan menggunakan *Picoscope* :

Pada pengujian ini titik yang dilakukan memiliki jarak 2,5 cm sebanyak 24 titik.



Gambar 4.6.1 Hasil Simulasi *Odyssey Putter*

- a. Terdapat dua frekuensi natural yang dapat terbaca dengan bentuk modeshapes yang berbeda dari hasil eksperimen. Yang pertama, adalah frekuensi natural sebesar 5,991 Hz

Tabel 4.6.1 Hasil eksperimen pada frekuensi 5,991 Hz

Titik	Compliance (mm/N)	Sudut Fase (°)
1	$2,48003986 \times 10^{-7}$	-47
2	$2,45994489 \times 10^{-7}$	-69
3	$4,70454596 \times 10^{-7}$	-50
4	$2,67617137 \times 10^{-7}$	-47
5	$3,41359442 \times 10^{-7}$	-53
6	$1,60544126 \times 10^{-7}$	-69
7	$1,59366303 \times 10^{-7}$	-66
8	$2,11784203 \times 10^{-7}$	-59
9	$1,47737585 \times 10^{-7}$	-50
10	$1,42544216 \times 10^{-7}$	-42
11	$1,37043092 \times 10^{-7}$	-36
12	$1,17531616 \times 10^{-7}$	-35
13	$1,33323328 \times 10^{-7}$	-66
14	$1,11838567 \times 10^{-7}$	-70
15	$1,10736753 \times 10^{-7}$	-69
16	$8,30814042 \times 10^{-7}$	-72
17	$5,79334176 \times 10^{-7}$	-83
18	$7,28082235 \times 10^{-7}$	-75
19	$5,83459885 \times 10^{-7}$	-76
20	$4,54078233 \times 10^{-7}$	-74
21	$3,70927040 \times 10^{-7}$	-70
22	$3,68475915 \times 10^{-8}$	-74
23	$2,57513342 \times 10^{-8}$	-70
24	$1,99733286 \times 10^{-8}$	-71

b. Kedua adalah frekuensi natural senilai 51,992 Hz

Tabel 4.6.2 Hasil eksperimen pada frekuensi 51,992 Hz

Titik	Compliance (m/N)	Sudut Fase (°)
1	$3,63518992 \times 10^{-7}$	-56
2	$2,68565531 \times 10^{-7}$	-74
3	$1,17322172 \times 10^{-7}$	89
4	$3,58989313 \times 10^{-7}$	-65
5	$6,60891708 \times 10^{-7}$	-45
6	$2,98668303 \times 10^{-7}$	-66
7	$2,60485270 \times 10^{-7}$	-63
8	$3,50130807 \times 10^{-7}$	-56
9	$2,37857817 \times 10^{-7}$	-43
10	$2,40695189 \times 10^{-7}$	-35
11	$2,27913387 \times 10^{-7}$	-27
12	$2,24225982 \times 10^{-7}$	-27
13	$3,31090209 \times 10^{-7}$	-61
14	$3,42321696 \times 10^{-7}$	-68
15	$3,28905695 \times 10^{-7}$	-77
16	$2,92232916 \times 10^{-7}$	-63
17	$2,03129415 \times 10^{-7}$	-70
18	$2,91483542 \times 10^{-7}$	-78
19	$2,49956840 \times 10^{-7}$	-88
20	$1,95616143 \times 10^{-7}$	-80
21	$1,49993206 \times 10^{-7}$	-81
22	$1,39701148 \times 10^{-7}$	-81
23	$1,13710552 \times 10^{-7}$	84
24	$9,30920478 \times 10^{-8}$	-88

#### 4.7 Hasil Eksperimen Putter Custom (Toe Weighted)

Setelah dilakukan proses manufaktur terhadap *Putter Custom* sesuai dengan kesimpulan dari simulasi yang telah dilakukan, dibuat sebuah *putter golf* sesuai dengan rancangan awal yang ada pada simulasi. Berikut adalah hasil dari proses manufaktur yang telah dilakukan :



Gambar 4.7.1 *Toe Weighted Putter Head* dengan Aluminium 7075

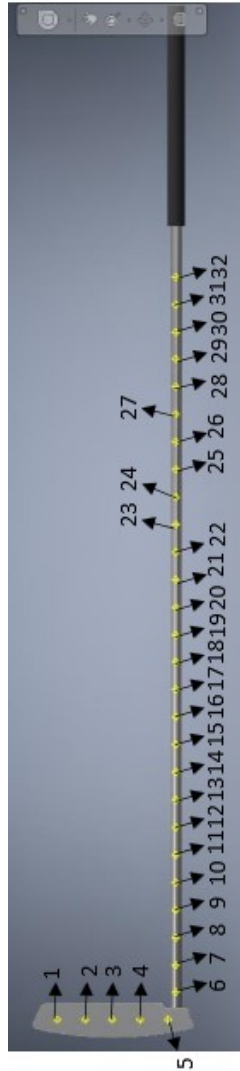




Gambar 4.7.2 *Carbon Steel Putter Shafts dan Polymer Grip*

Setelah dilaksanakan pengujian *modal analysis* sesuai dengan *flowchart* yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Dilakukan eksperimen dengan menggunakan *clamped-free boundary condition*. Penempatan *accelerometer* pada *toe-clubface* dan *grip* dari *putter golf* yang di ragum untuk menciptakan suasana pemukulan yang sebenarnya. Berikut adalah hasil dari eksperimen yang telah dilakukan menggunakan *Picoscope* :

- a. Titik Pengujian yang dibahas memiliki jarak 2,5 cm sebagai berikut.



Gambar 4.7.3 Titik Pengujian *Putter Toe Weighted*

- b. Terdapat dua frekuensi natural yang didapatkan dari pengujian ini, yaitu yang pertama adalah frekuensi natural sebesar 5,991 Hz

Tabel 4.7.1 Hasil Eksperimen pada frekuensi natural 5,991 Hz

Titik	Compliance (mm/N)	Sudut Fase (°)
1	$4,41181017 \times 10^{-10}$	-47
2	$8,71948753 \times 10^{-10}$	-14
3	$6,56088580 \times 10^{-10}$	-15
4	$4,42027342 \times 10^{-10}$	-18
5	$1,91922915 \times 10^{-10}$	-19
6	$4,25337873 \times 10^{-10}$	-67
7	$3,26635641 \times 10^{-10}$	14
8	$2,16855299 \times 10^{-10}$	-5
9	$3,04294516 \times 10^{-10}$	-10
10	$4,02913410 \times 10^{-10}$	-12
11	$4,90194538 \times 10^{-10}$	-16
12	$7,56177001 \times 10^{-10}$	-10
13	$6,65978873 \times 10^{-10}$	-16
14	$7,33156823 \times 10^{-10}$	-17
15	$7,92311066 \times 10^{-10}$	-17
16	$8,30467622 \times 10^{-10}$	-18
17	$8,53107278 \times 10^{-10}$	-18
18	$8,54736571 \times 10^{-10}$	-20
19	$8,47458448 \times 10^{-10}$	-19
20	$8,10471084 \times 10^{-10}$	-21
21	$7,62887089 \times 10^{-10}$	-22
22	$7,02484863 \times 10^{-10}$	-19
23	$6,64213403 \times 10^{-10}$	-18
24	$5,98642953 \times 10^{-10}$	-20
25	$5,03442278 \times 10^{-10}$	-22
26	$4,69806345 \times 10^{-10}$	-18
27	$3,57295404 \times 10^{-10}$	-19
28	$2,89911804 \times 10^{-10}$	-20
29	$2,08932594 \times 10^{-10}$	-23
30	$1,44964571 \times 10^{-10}$	-23
31	$9,23852815 \times 10^{-11}$	-22
32	$4,39730406 \times 10^{-11}$	-27

4.7.1 Hasil Eksperimen pada frekuensi natural 5,991 Hz

- c. Kedua, hasil frekuensi natural yang didapatkan pada pengujian menunjukkan angka 8,9865 Hz

Tabel 4.7. 2 Hasil Eksperimen pada frekuensi natural 8,9865 Hz

Titik	Compliance (m/N)	Sudut Fase (°)
1	$6,93053678 \times 10^{-13}$	-56
2	$1,03803539 \times 10^{-09}$	-54
3	$1,20710455 \times 10^{-10}$	15
4	$1,07567597 \times 10^{-09}$	-66
5	$1,79862293 \times 10^{-09}$	-52
6	$2,03794143 \times 10^{-09}$	-60
7	$1,87182284 \times 10^{-09}$	-56
8	$1,43742200 \times 10^{-09}$	-61
9	$1,15511203 \times 10^{-09}$	-60
10	$8,63102850 \times 10^{-10}$	-61
11	$5,90218443 \times 10^{-10}$	-60
12	$2,43757856 \times 10^{-10}$	-55
13	$4,94220043 \times 10^{-11}$	65
14	$2,81740347 \times 10^{-10}$	-74
15	$4,81794781 \times 10^{-10}$	-69
16	$6,50770389 \times 10^{-10}$	-66
17	$8,57705730 \times 10^{-10}$	-64
18	$6,50770389 \times 10^{-10}$	-64
19	$9,60255563 \times 10^{-10}$	-62
20	$1,14334165 \times 10^{-09}$	-63
21	$1,18592807 \times 10^{-09}$	-64
22	$1,13757392 \times 10^{-09}$	-63
23	$1,20507364 \times 10^{-09}$	-62
24	$1,07501511 \times 10^{-09}$	-63
25	$9,62145429 \times 10^{-10}$	-60
26	$9,03140840 \times 10^{-10}$	-61
27	$7,44254670 \times 10^{-10}$	-63
28	$6,11320494 \times 10^{-10}$	-62
29	$4,51941033 \times 10^{-10}$	-60
30	$3,09714762 \times 10^{-10}$	-60
31	$1,99536843 \times 10^{-10}$	-57
32	$1,01047580 \times 10^{-10}$	-59

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN MODUS GETAR *PUTTER CUSTOM*

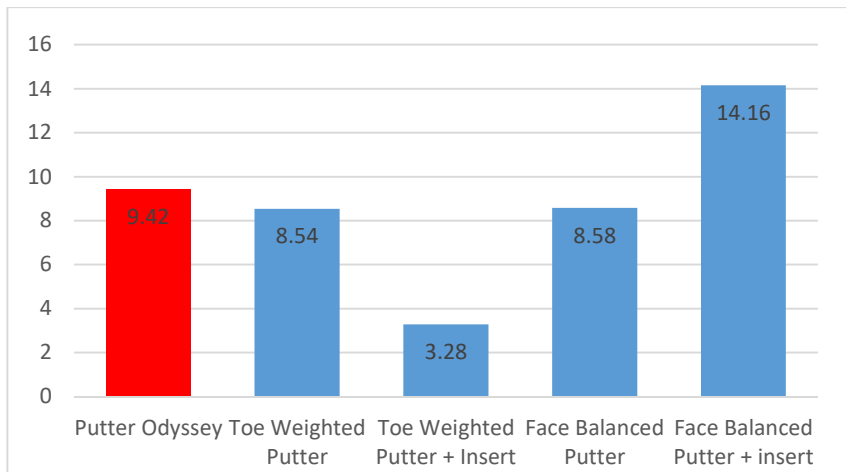
#### 5.1 Analisa Hasil Simulasi

Data hasil simulasi yang telah dikumpulkan pada *putter benchmark* dan *putter custom*. Terdapat analisa yang dapat diambil untuk melanjutkan penelitian ke tahapan eksperimen lebih lanjut yaitu *CNC Machining*. Sesuai dengan tujuan dan spesifikasi sebuah *putter* yang seharusnya memiliki akurasi yang tinggi, sehingga saat bergetar pada frekuensi tertentu tidak akan mempengaruhi pemukulan bola. Maka diambil frekuensi natural pada tiap-tiap *design putter* yang akan mempengaruhi arah pemukulan bola, yaitu yang *modeshapes*-nya menunjukkan pergerakan kembali ke arah sumbu z. Hasil dari simulasi telah valid karena memenuhi syarat *frequency range* pada 0-800 Hz<sup>[11]</sup>

Atas dasar tersebut, diambil frekuensi natural dari tiap-tiap *design putter* yang dapat mempengaruhi akurasi pemukulan bola pada *swing plane* yaitu sebagai berikut :

Tabel 5.1.1 Tabel Perbandingan Frekuensi Natural tiap desain

No	<i>Tipe Putter Head</i>	Frekuensi Natural
1	<i>Putter Odyssey</i>	9,42 Hz
2	<i>Toe Weighted Putter</i>	8,54 Hz
3	<i>Toe Weighted Putter + Insert</i>	3,28 Hz
4	<i>Face Balanced Putter</i>	8,58 Hz
5	<i>Face Balanced Putter + Insert</i>	14,16 Hz

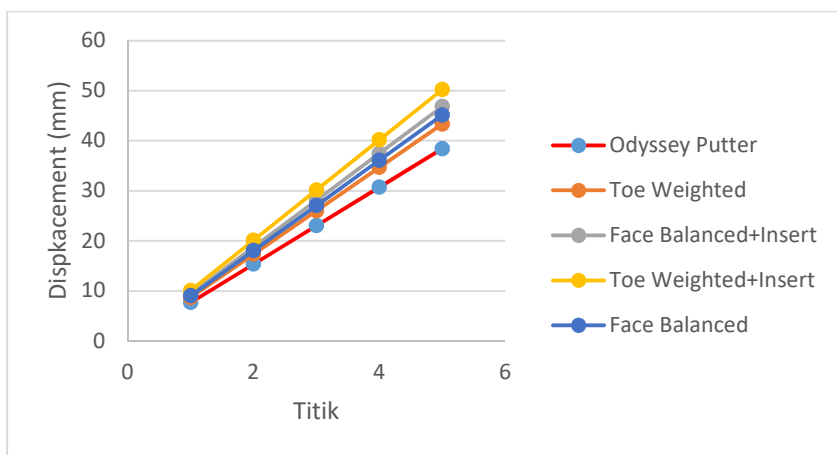


Gambar 5.1.1 Grafik Perbandingan Frekuensi Natural tiap desain

Berdasarkan grafik dan tabel diatas tersebut, terdapat dua desain yang memiliki frekuensi natural yang mendekati frekuensi natural yang dimiliki oleh *putter Odyssey*. Desain tersebut ialah desain *toe weighted putter* dengan *face balanced putter*, nilai perbedaan hanya sebesar 0,02 Hz. Maka dari itu dilakukan analisa berikutnya sebelum memutuskan desain yang mendekati dengan *putter head Odyssey*. Selanjutnya, dilakukan perbandingan *displacement* di tiap titik sebelum akhirnya memutuskan desain yang akan melalui proses eksperimen.

Tabel 5.1.2 Tabel Perbandingan *Displacement* tiap desain

	<i>Displacement (mm)</i>				
Titik	Odyssey	Toe Weighted	Face Balanced Insert	Toe Weighted Insert	Face Balanced
1	7,68	8,67	9,37	10,05	9,02
2	15,36	17,34	18,74	20,09	18,05
3	23,04	26,01	28,1	30,14	27,07
4	30,73	34,68	37,47	40,19	36,1
5	38,41	43,35	46,84	50,24	45,12



Gambar 5.1.2 Grafik Perbandingan *Displacement* tiap desain

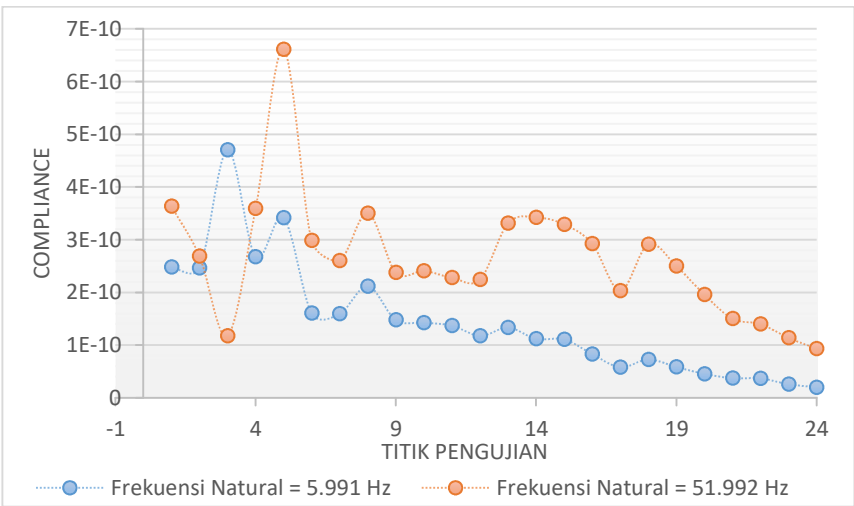
Setelah dilakukan perbandingan tersebut, terlihat bahwa dari keseluruhan data memiliki ciri yang sama yaitu kenaikan yang linear. Dari keseluruhan data *displacement* di tiap titik tersebut, terlihat bahwa *displacement* yang dimiliki oleh *Toe Weighted Putter* paling mendekati diantara *displacement* lainnya maupun *displacement* milik *Face Balanced Putter*. Dapat

disimpulkan bahwa secara simulasi, *Toe Weighted Putter* adalah *putter* yang paling mewakili nilai akurasi yang diinginkan pada penelitian ini.

*Toe Weighted Putter* akan melewati CNC Machining sebelum akhirnya dilakukan eksperimen dan dibandingkan dengan hasil eksperimen dari *Putter Benchmark*. Perbandingan hasil eksperimen ini berguna untuk mengetahui seberapa tepat simulasi menggambarkan hasil eksperimen yang sebenarnya.

**5.2 Analisa Hasil Eksperimen Putter Benchmark dan Putter Custom (Toe Weighted)**

Sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan pada *Putter Head Odyssey*, data tersebut dibuat kedalam bentuk grafik untuk dianalisa lebih lanjut. Berikut adalah data hasil eksperimen pada *Putter Odyssey* yang dibuat dalam bentuk grafik sebelum akhirnya dibandingkan dengan hasil eksperimen *Putter Custom* yang telah dibuat.



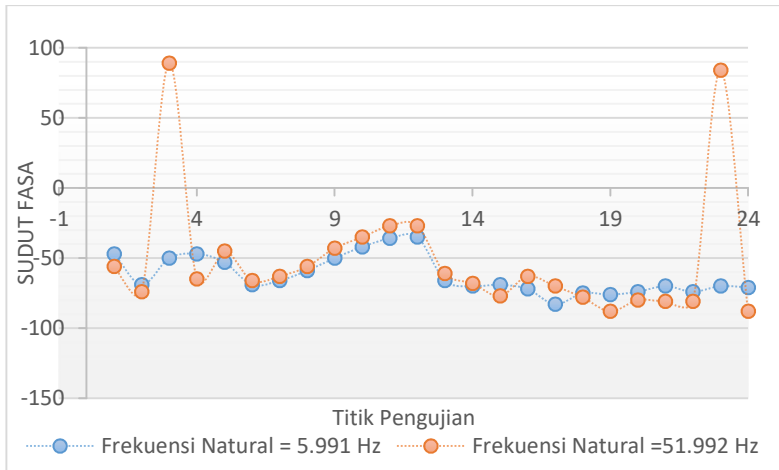
Gambar 5.2.1 Grafik *Compliance* pada *Putter Head Odyssey*



Berdasarkan grafik data tersebut, dilihat karakteristik *modeshapes* dari kedua *compliance*. Pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz memiliki data yang cenderung menurun dan fluktuatif. Pada data ke-6 *compliance* turun cenderung lebih linear, dimana data ini adalah awal mulanya respon getar pada *shaft*. Pada data ke 1 sampai ke 5, data *compliance* fluktuatif secara acak, dimana data ini menunjukkan respon getar pada *putter head*.

Terlihat pada frekuensi natural sebesar 51,992 Hz memiliki bentuk *modeshapes* yang cenderung mirip dengan milik 5,991 Hz, hanya saja pada beberapa titik menunjukkan perbedaan bentuk *modeshapes* serta nilai *compliance* yang lebih tinggi. Tetapi *compliance* yang dimiliki pada frekuensi natural 51,992 Hz ini memiliki kecenderungan data yang acak namun menurun. Pada data 1 sampai data ke 5 yang menggambarkan respon pada *putter head* memiliki fluktuasi *compliance* dengan *margin* yang lebih tinggi dibandingkan *compliance* yang ada pada data ke-6 sampai data ke-24 yang menggambarkan respon pada *shaft*.

Dari kedua data tersebut, pada frekuensi 51,992 Hz memiliki *compliance* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *compliance* yang ada pada 5,991 Hz. Tetapi perlu ditindak lanjuti manakah diantaranya yang terjadi pada *swing plane* pada eksperimen yang membaca *compliance* pada sumbu Z (*Z-displacement*). Pada simulasi yang telah dilakukan, *swing plane* memiliki kecenderungan untuk peningkatan yang linear pada tiap titik, dari kedua data tersebut, data milik 5,991 Hz yang paling mewakili dibandingkan dengan data 51,992 Hz.



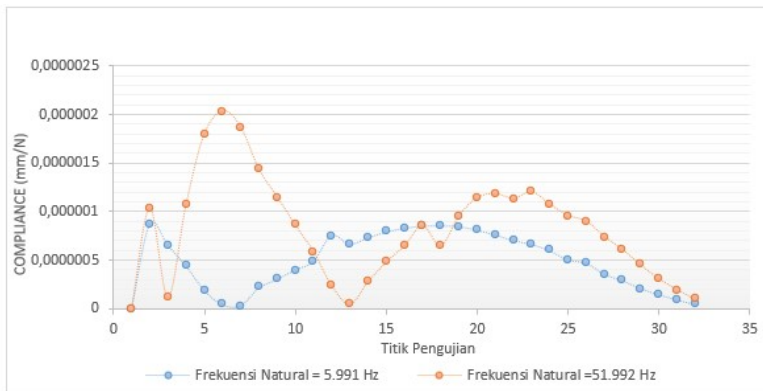
Gambar 5.2.2 Grafik Sudut Fasa pada *Putter Head Odyssey*

Berdasarkan grafik data tersebut, kedua frekuensi natural memiliki sudut fasa yang hamper tidak jauh berbeda. Pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz memiliki data yang cenderung menurun. Terlihat pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz tidak ada sudut fasa yang memiliki perbedaan yang tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa *modeshapes* yang terjadi pada frekuensi tersebut adalah *modeshape* yang terjadi pada *swing plane*. Sementara pada frekuensi natural sebesar 51,992 Hz pada data ke-3 dan data ke 23 terdapat perbedaan sudut yang signifikan diantara-nya.

Tetapi pada 51,992 Hz terjadi kenaikan sudut fasa yang signifikan di titik 3 dan titik 23. Dapat diambil kesimpulan bahwa pada frekuensi sebesar 51,992 Hz terjadi pada *torsional plane* karena perbedaan sudut yang signifikan tidak memungkinkan *compliance* terjadi pada *swing plane*. Pada akhirnya, frekuensi natural 5,991 Hz yang dipilih karena perbedaan sudut yang kecil tersebut menggambarkan terjadinya *compliance* pada *swing*

*plane*. Jika dikaitkan dengan simulasi frekuensi natural di range 0 Hz-15 Hz dapat ditemukan *displacement* pada *swing plane*, dan sudut yang terjadi pada *swing plane* cenderung linear. Sementara 51,992 Hz sudah berada diluar *range* tersebut, serta terjadinya kenaikan sudut yang tinggi di titik tertentu.

Berikut adalah data hasil eksperimen milik *Putter Custom* yang telah digambarkan dalam bentuk grafik *compliance* tiap titik dan sudut fasa tiap titik.



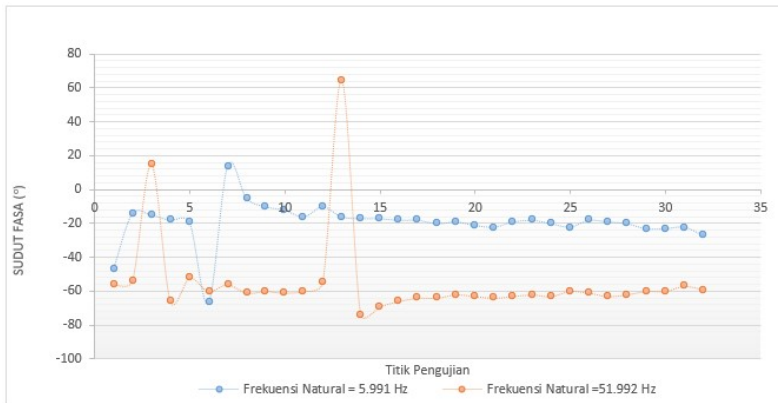
Gambar 5.2.3 Grafik *Compliance* pada *Putter Head Custom* (*Toe Weighted*)

Berdasarkan grafik data tersebut, dilakukan analisa terhadap bentuk *modeshapes* melalui *compliance*. Pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz memiliki data yang cenderung menurun dan fluktuatif. Bahwa pada frekuensi 5,991 Hz menggambarkan penurunan *compliance* yang sangat kecil Pada data ke-6 *compliance* turun drastis sebelum akhirnya naik, dimana data ini adalah awal mulanya respon getar pada *shaft*. Pada data ke 1 sampai ke 5, terjadi kenaikan yang bermula dari titik 1, disusul dengan penurunan bertahap sampai titik ke 5. Data titik 1 sampai

titik ke 5 menggambarkan respon getar yang terjadi pada *Putter Head Aluminium 7075*.

Terlihat pada frekuensi natural sebesar 8,9865 Hz memiliki fluktuasi data yang jauh lebih tinggi dibandingkan yang dimiliki oleh 5,991 Hz Tetapi *compliance* yang dimiliki pada frekuensi natural 8,9865 Hz ini memiliki kecenderungan data yang acak namun cenderung menurun dibandingkan pada 5,991 Hz. Pada data 1 sampai data ke 5 yang menggambarkan respon pada *putter head* memiliki fluktuasi *compliance* dengan *margin* yang lebih tinggi dibandingkan *compliance* yang ada pada data milik frekuensi natural 5,991 Hz.

Dari kedua data tersebut, pada frekuensi 8,9865 Hz memiliki *compliance* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *compliance* yang ada pada 5,991 Hz. Tetapi perlu ditindak lanjuti manakah diantaranya yang terjadi pada *swing plane* pada eksperimen yang membaca *compliance* pada sumbu Z (*Z-displacement*). Pada simulasi yang telah dilakukan, *swing plane* memiliki kecenderungan untuk peningkatan yang linear pada tiap titik, dari kedua data tersebut, data milik 5,991 Hz yang paling mewakili dibandingkan dengan data 8,9865 Hz.



Gambar 5.2.4 Grafik Sudut Fasa pada *Putter Custom (Toe Weighted)*

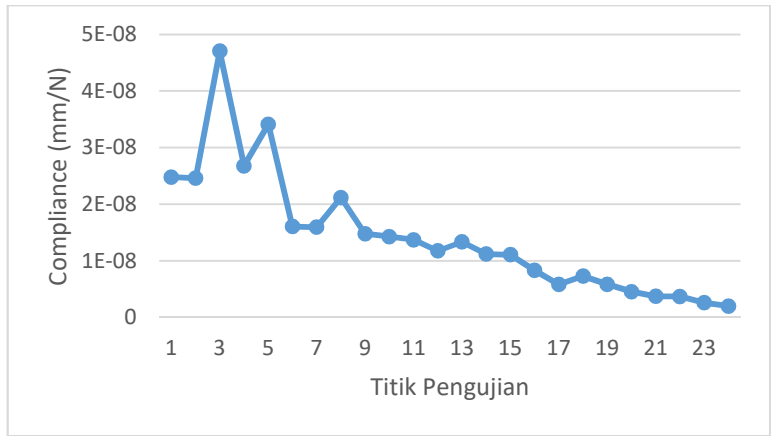
Berdasarkan grafik data tersebut, dilihat karakteristik keseluruhan data dari tiap titik pengujian. Pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz memiliki data yang cenderung stabil, terlihat dari keseluruhan data yang ada. Terlihat pada frekuensi natural sebesar 5,991 Hz tidak ada sudut fasa yang memiliki perbedaan yang tinggi, sehingga dapat disimpulkan bahwa *modeshapes* yang terjadi pada frekuensi tersebut adalah *modeshape* yang terjadi pada *swing plane*. Adanya fluktuasi dari titik 5 ke titik 6 menandakan terjadinya sudut yang berbeda di daerah ujung *putter head* menuju *putter shaft*. Sementara pada frekuensi natural sebesar 8,9865 Hz pada data ke-3 dan data ke 13 terdapat perbedaan sudut yang signifikan di antara keduanya.

Dapat diambil kesimpulan bahwa pada frekuensi sebesar 8,9865 Hz terjadi pada *torsional plane* karena perbedaan sudut yang signifikan tidak memungkinkan *compliance* terjadi pada *swing plane*. Perbedaan sudut tersebut bukan pula terjadi di antara daerah antara *head* dan *shaft*, tetapi terjadi di titik tengah *head* dan *shaft*. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan geometri

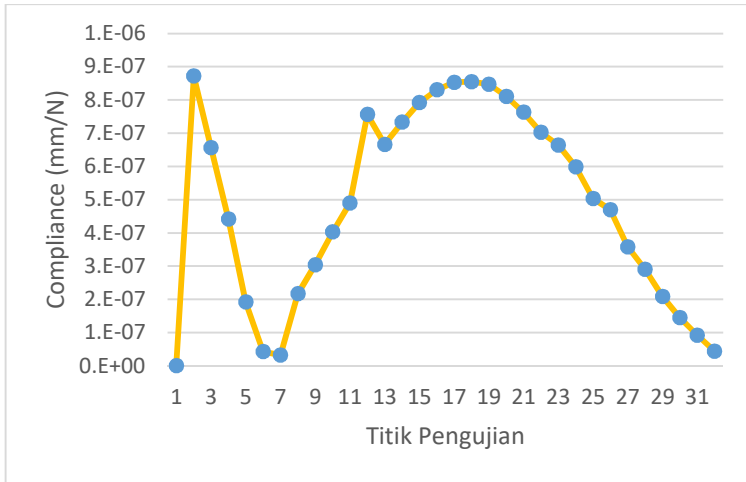
yang signifikan di titik tersebut. Pada akhirnya, frekuensi natural 5,991 Hz yang dipilih karena perbedaan sudut yang kecil tersebut menggambarkan terjadinya *compliance* pada *swing plane*. Jika dikaitkan dengan simulasi frekuensi natural di range 0 Hz-15 Hz dapat ditemukan *displacement* pada *swing plane*, dan sudut yang terjadi pada *swing plane* cenderung linear. Meskipun 8,9865 masuk ke dalam *range* tersebut, tetapi sudutnya menunjukkan nilai yang fluktuatif dibandingkan dengan milik 5,991 Hz.

**5.2.1 Compliance pada frekuensi natural 5,991 Hz**

Setelah dilakukan analisa mengenai frekuensi natural yang paling mewakili *swing plane* dengan *z-displacement*, telah ditentukan bahwa 5,991 Hz adalah frekuensi natural yang dipilih diantara kedua benda yang melalui eksperimen. Setelah itu, kedua *compliance* dari frekuensi natural ini digambarkan dalam grafik untuk mengetahui *modeshapes* yang terjadi pada keseluruhan *putter golf*.



Gambar 5.5.1.1 Grafik *Compliance* di tiap titik pada *Putter Odyssey*



Gambar 5.5.1.2 Grafik *Compliance* di tiap titik pada *Putter Custom Toe Weighted*

*Modeshapes* pada Gambar 5.2.1.1 memiliki karakteristik seperti *modeshapes* yang terjadi pada *displacement* kearah *swing plane* dibandingkan dengan Gambar 5.2.1.2 yang *modeshapes* pada titik 6 sampai ke titik 32 berbentuk parabolic. Terlihat pula pada *modeshapes odyssey*, nilai *compliance* lebih besar dibandingkan dengan *compliance* yang dimiliki oleh *modeshapes odyssey* pada frekuensi natural yang sama Bentuk *modeshapes* yang dimiliki oleh grafik *toe weighted* jika ditinjau per titik pengujian tindak menggambarkan gerak pada *swing plane* sesuai dengan yang ada pada simulasi. Tetapi jika ditinjau dengan *trendline*, menggambarkan penurunan *compliance* yang linear.

Dari grafik ini, dapat disimpulkan bahwa keinginan untuk membuat *putter golf* yang memiliki karakteristik respon getar yang serupa dengan *putter head odyssey* dapat dikatakan belum sepenuhnya berhasil. Dalam kondisi frekuensi natural yang sama terkait *swing plane*, keduanya sama-sama memberikan *output*

pada eksperimen sebesar 5,991 Hz. Tetapi, saat ditinjau pada konteks *modeshapes* dan *displacement*-nya keduanya memiliki respon yang jauh berbeda.

Respon *modeshapes* yang berbeda ini dimungkinkan terjadi karena adanya perbedaan *design* pada *Putter Odyssey* dan *Putter Custom Toe Weighted*. Perbedaan *design* ini akan mempengaruhi inersia yang dimiliki oleh sebuah sistem. Inersia tidak hanya mempengaruhi frekuensi natural saja. Tetapi juga mempengaruhi *displacement* dari sebuah respon getar, dan dapat membuat *displacement* yang berbeda meskipun dinyatakan memiliki frekuensi natural yang sama. Pada penelitian ini, *displacement* tersebut terlihat dari bentuk *modeshapes* sesuai *compliance* pada tiap titik.

Tidak hanya karena perbedaan *design*, tetapi juga perbedaan material dari *Putter Odyssey* dan *Putter Toe Weighted* yang akan mempengaruhi kekakuan dari material. Kekakuan ini dapat memberi pengaruh terhadap frekuensi natural maupun *displacement* yang digambarkan dengan *modeshapes*. Selain itu, perbedaan massa dari keduanya melengkapi alasan terjadinya perbedaan respon getar pada penelitian ini



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, analisa dan simulasi percobaan didapatkan beberapa kesimpulan diantara lain sebagai berikut :

1. Pada keempat desain dan *putter benchmark* yang dilakukan simulasi terhadapnya, memiliki bentuk *modeshapes* yang sama tetapi tidak memiliki nilai *displacement* yang sama. Area yang mengalami *Z-displacement* paling tertinggi terjadi pada *putter head* dan terendah pada *putter shaft*.
2. Pada desain yang memiliki *insert* di dalamnya, memiliki perbedaan frekuensi natural yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain yang tidak memiliki *insert* di dalamnya. Hal ini disebabkan karena *insert* terbuat dari material yang berbeda sehingga memiliki kekakuan benda yang berbeda
3. Bentuk *modeshapes*, *displacement*, dan frekuensi natural yang paling mendekati dengan *putter benchmark* adalah *putter toe weighted* sehingga dilakukan proses *machining* dan eksperimen terhadapnya
4. Hasil eksperimen *Toe Weighted Putter* dan *Putter Odyssey* sama-sama menghasilkan dua frekuensi natural yang memiliki *modeshapes* dan *compliance* yang tidak sama. Terdapat frekuensi natural yang memiliki nilai yang sama tetapi hasil *modeshapes* dan *compliance* milik *toe weighted putter* memiliki besaran yang lebih tinggi dibandingkan milik *putter head odyssey*.
5. Analisa hasil eksperimen menunjukkan bahwa meskipun sebuah sistem memiliki frekuensi natural yang sama, tetapi tidak menjamin bahwa *displacement* ataupun *modeshapes* yang akan didapat bernilai sama.

*Modeshapes* tidak hanya dipengaruhi oleh frekuensi natural, tetapi dipengaruhi oleh massa benda, material dari benda, serta perbedaan geometri

6. Pengaruh variasi pusat massa terhadap respon getar adalah perubahan variasi pusat massa merubah geometri pada sebuah sistem, perubahan geometri menyebabkan perubahan frekuensi natural dan juga *modeshapes*. Pada penelitian ini, meskipun ditemukan frekuensi natural yang sama pada geometri yang berbeda akibat perbedaan material namun terlihat bahwa *modeshapes* dan *compliance* yang dimiliki berbeda.

## 6.2 Saran

1. Sebaiknya perwujudan barang melalui proses manufaktur memiliki massa yang sesuai dengan simulasi agar hasil eksperimen dapat dibandingkan dengan hasil simulasi. Selain itu hindari kesalahan proses manufaktur agar respon getar hasil eksperimen terjadi bukan karena kesalahan proses manufaktur, melainkan karena rumusan masalah awal yang ingin dicapai
2. Memastikan data memiliki koherensi yang mendekati satu pada saat pengolahan data eksperimen, untuk menjamin validitas data tersebut. Koherensi ini dapat tercapai saat penggunaan *single-exciter* yang ada pada *vibration testing meter* dilakukan secara tepat melalui pemberian gaya sekali tanpa berulang
3. Memastikan bahwa material pada benda yang menjadi tolak ukur dengan material yang diciptakan memiliki *properties* yang sama. Hal ini untuk mencegah perbedaan respon getar yang terjadi diluar dari rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] UK Participation Study : Golf Actives-European Tour -  
[www.europeantour.com/mm/document/tournament/tournaments/27/33/95/golfactivesummaryslides\\_english.pdf](http://www.europeantour.com/mm/document/tournament/tournaments/27/33/95/golfactivesummaryslides_english.pdf) -diakses 24  
Desember 2016

[2] First Swing Golfer's Guide - The PGA of America -  
[pdf.pgalinks.com/p-g-a/FS\\_Golfers\\_Guide\\_1.pdf](http://pdf.pgalinks.com/p-g-a/FS_Golfers_Guide_1.pdf)

[3] Art of Putting and Selection Guide - Scotty Cameron -  
[www.scottycameron.com/media/2525/scotty-cameron-art-of-putting-and-selection-guide.pdf](http://www.scottycameron.com/media/2525/scotty-cameron-art-of-putting-and-selection-guide.pdf) -diakses 26 Desember 2016

[4] Guide to the Rules on Clubs and Balls - USGA org -  
[www.usga.org/rules/equipment-rules.html#!rule-14606](http://www.usga.org/rules/equipment-rules.html#!rule-14606) - diakses  
26 Desember 2016

[5] Roger D'Earth, 2003, *Face Balanced Golf Putter*, United  
States, US 20030100380 A1,

[6] Automation, Production Systems, and Computer-Integrated  
Manufacturing, Third Edition, by Mikell P. Groover. ,2008  
Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ.

[7] Hibbeler, R.C. 2011. Mechanics of Materials 8th ed, Pearson  
Education, Inc. Prentice Hall, Upper Saddle River, USA.

[8] BHARA, FIRNIMUS KONSTANTINUS, 2014, *ANALISIS RESPONS GETARAN LANTAI FLEKSIBEL AKIBAT AKTIVITAS MANUSIA*. S2 thesis, UAJY

[9] Pradiga, Dimas Angga 2015. *Studi Eksperimental Analisis Modal Untuk Menguji Karakteristik Modus Getar Pada Rangka Raket Tennis*. Surabaya.

[10] Koduri, Mularikhrisna 2012. *Welded Frame Finite Element Modelling and Experimental Modal Analysis*. Master Degree Thesis; Blekinge Institute of Technology

[11] Braunwart, Paul R. 1998. *Experimental and Analytical Examination of Golf Club Dynamics*. Master Degree Thesis. Virginia..

## BIOGRAFI PENULIS



Audrey Surya Prameswari Kharisma lahir di Jakarta tanggal 31 Maret 1997 dari pasangan Suryawarman dan Sri Puji Kristianingsih. Memulai

pendidikan pada umur 4 tahun di SDN Gondangdia 01 Pagi (2001-2007) SMPN 1 Jakarta (2007-2010) SMAN 91 Jakarta (2010-2013) dan berkuliah di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2013-2017) bersamaan dengan menempuh pendidikan di Universitas Airlangga Jurusan

Hukum (2015-2017). Selama berkuliah penulis telah aktif dalam kegiatan organisasi Society of Petroleum Engineers sebagai Public Relations Head PETROLIDA dan juga ITS Team SAPUANGIN sebagai Non-Technical Division for Business Plan Presentation (2014-2016). Selain itu penulis telah menerima beasiswa dari SPE JAVA dibawah afiliasi KOTAMINYAK & BP MIGAS, bantuan pendidikan dari PT. ASTRA International Tbk, serta pelatihan ekstensif melalui XL FUTURE LEADERS Batch 4. Penulis telah berpartisipasi aktif dalam kegiatan nasional maupun internasional dengan dukungan penuh dari universitas, perusahaan dan pemerintahan. Penulis telah mengikuti kegiatan di kancah internasional seperti Malaysia, Thailand, Jepang, dan Korea serta mengerjakan proyek perusahaan sebagai konsultan bagi PT. ASTRA International Tbk. Penulis dapat dihubungi melalui email : **audreysuryaprameswari@gmail.com**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*